

Christian Neustadt

Vergleichende Untersuchung von stählernen
Kesselgerüsten unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit.

DIPLOMARBEIT

HOCHSCHULE MITTWEIDA

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Maschinenbau/Feinwerktechnik

Mittweida, 2010

Christian Neustadt

Matrikel-Nr.: 18935

Vergleichende Untersuchung von stählernen
Kesselgerüsten unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit.

DIPLOMARBEIT

HOCHSCHULE MITTWEIDA

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Maschinenbau/Feinwerktechnik

Darmstadt / Klötitz, 2009

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing Torsten Laufs

Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Thorsten Nicolay

Vorgelegte Arbeit wurde verteidigt am:

Bibliographische Beschreibung:

Neustadt, Christian:

Vergleichende Untersuchung von stählernen Kesselgerüsten unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit. – 2009. – 122 S.

Darmstadt / Klötitz, Hochschule Mittweida, Fachbereich Stahl- und Metallbau,
Diplomarbeit, 2010

Referat:

Diese Diplomarbeit befasst sich mit Kesselgerüsten im Kraftwerksbau, mit dem Ziel durch eine Gegenüberstellung von verschiedenen Kesselgerüstauführungen und deren jeweiligen Besonderheiten eine Wertung von zu bevorzugenden Kesselgerüstauführungen vorzunehmen. Weitergehend werden Detaillösungen auf ein Referenzobjekt übertragen, um die daraus hervorgehenden Vergleichsgrößen hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit zu untersuchen und die daraus folgenden Ergebnisse zu formulieren.

Erklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Darmstadt / Klötitz, 31.12.2009

Dank

Ich danke Herrn Professor Dr.-Ing. T. Laufs für die Betreuung meiner Diplomarbeit an der Hochschule für Wirtschaft und Technik Mittweida/Roßwein.

Der Firma Donges SteelTec, Darmstadt, für die Möglichkeit meine Diplomarbeit bei Ihnen schreiben zu dürfen. Ich habe meine Arbeit in einem angenehmen und motivierenden Arbeitsklima durchführen dürfen. In diesem Zusammenhang möchte ich mich auch bei meinen betrieblichen Betreuern Herrn Nicolay und Herrn Bogedain und Herrn Beck für Ihre Unterstützung danken.

Weiteren Dank gebührt der Fachschule für Technik am BSZ Döbeln, speziell natürlich Frau Dathe und Herrn Wüstner, für die eine anstrengende und lehrreiche Zeit sowie für die Begeisterung mit der Metallbautechnik gelehrt wurde bzw. immer noch gelehrt wird.

Bedanken möchte ich mich auch bei Acerplan Planungsgesellschaft, Halle/Saale - ganz besonders Herrn Karl - für die Möglichkeit diese Erfahrungen und Einblicke in meinem Praxissemester zu erlangen.

Besonderen Dank an alle meine Freunde, welche diesen Weg mit mir gegangen sind. In aller erster Linie natürlich Herrn Sperling für den gemeinsamen Weg durch Technikerschule und Studium. Bei Patrick, Michael und Christian dafür mich als Freund zu ertragen. Danke.

Am Ende natürlich meiner Familie, für die Freiheit meinen Weg gehen zu dürfen und für die Unterstützung. Vielen Dank dafür. Bei allen positiven wie auch negativen Umständen ist mir sehr wohl bewusst, dass es nicht selbstverständlich ist euch zu haben. Claudia möchte ich besonderen Dank sagen, dafür dass sie mir eigentlich diesen Weg erst ermöglicht hat. Ich bin dankbar dich als Schwester zu haben.

Inhalt	Seite
I Deckblatt	I
II Deckblatt	II
III Bibliographische Beschreibung / Referat	III
IV Erklärung	IV
V Dank	V
VI Inhalt	VI
1 Einleitung	1
1.1 Allgemeines	1
1.1.1 Entwicklung des Energieverbrauchs	1
1.1.2 Aktuelle Anteile der Energieträger an der Stromerzeugung	2
1.1.3 Entwicklung der Energieträger	2
1.1.4 Ausblick in die Zukunft	3
1.2 Prinzipielle Wirkungsweise von Kohlekraftwerken	4
1.3 Motivation	5
1.4 Ziel der Arbeit	6
1.5 Abgrenzung	6
2 Theoretische Grundlagen von Kesselgerüstkonstruktionen	7
2.1 Grundsätzliches zu Kohlekraftwerken	7
2.2 Tragwerke eines Kohlekraftwerks	8
2.2.1 Kesselgerüst mit Tragrost	8
2.2.2 Kesselhaus	9
2.2.3 Bunkerhaus und Luftvorheizerhaus	9
2.3 Kesselgerüstkonstruktion	10
2.3.1 Tragstruktur	10
2.3.2 Montagestöße	12
2.3.3 Montagevorgänge	14
2.3.4 Verhältnis Stahlbau – Anlagenbau	14
2.4 Kesselgerüst Maasvlakte	15
3 Variantenuntersuchung statischer Systeme	16
3.1 Vorbemerkungen	16
3.1.1 Beschreibung der Untersuchungsgrundlage	16
3.1.2 Randbedingungen der Untersuchung	16
3.1.3 Modifikationen des statischen Modells	18
3.2 Variantenübersicht	19

	Seite
3.2.1 Grundlagen zur Erstellung der Varianten.....	19
3.2.2 Variantenübersicht	19
3.2.3 Erläuterungen zur Variantenauswahl.....	21
3.2.4 Ausführungen der Kopfform	22
3.2.5 Ausführungen der Ausfachung.....	34
3.2.6 Herausstellen der zu untersuchenden Varianten.....	45
3.3 Auswertung der untersuchten Varianten.....	46
3.3.1 Auswertungsparameter	46
3.3.2 Aussagen zur Variantenuntersuchung.....	46
3.3.3 Steifigkeitsuntersuchung der Ausfachungen.....	55
3.3.4 Aufstellung der Vergleichswerte.....	57
3.4 Betrachtung Querschnitte.....	60
3.5 Fazit.....	63
4 Statische Berechnungen des Kesselgerüsts	64
4.1 Intension der untersuchten Variante	64
4.2 Erläuterung der untersuchten Ausführung	64
4.3 Ausgangssituation zu statischen Berechnungen	65
4.3.1 Allgemeine Informationen	65
4.3.2 Struktur	66
4.3.3 Montage	68
4.3.4 Lasten.....	69
4.3.5 Lastkombinationen	71
4.4 Bemessung der Konstruktion	73
4.4.1 Verformung.....	73
4.4.2 Spannungsanalyse.....	73
4.4.3 Biegeknicknachweis.....	73
4.4.4 Biegedrillknicken	74
4.4.5 Beulnachweis	74
4.5 Resultate der statischen Berechnung im Vergleich zum Referenzobjekt	74
5 Anschlüsse	77
5.1 Anschlüsse bei Kesselgerüstkonstruktionen.....	77
5.2 Gestaltung und Wirkungsweisen von gelenkigen Anschlüssen.....	78
5.3 Anschlusssituation.....	78
5.4 Bemessung der Knotenpunkte mit gelenkigen Anschlüssen	
um die y-Achse der Riegel	80
5.4.1 Riegelanschluss	80
5.4.2 Diagonalenanschluss	83
5.4.3 Anschlusspunkt bzw. -querschnitt an die Stütze.....	84
5.4.4 Steifen innerhalb der Stütze.....	84

VI Inhalt	VIII
	Seite
5.4.5 Verstärkungsbleche	85
5.4.6 Schottbleche.....	86
5.4.7 Schweißnähte.....	86
5.5 Gegenüberstellung der vorhandenen Anschlussausführung des	
Kesselgerüsts Maasvlakte mit gelenkigen Anschlüssen.....	87
5.5.1 Typ I	87
5.5.2 Typ II	90
5.5.3 Typ III	92
5.5.4 Typ IV	94
5.5.5 Typ V	97
6 Auswertung der Anschlüsse.....	99
6.1 Wichtung der Vergleichsgrößen.....	99
6.2 Masse	99
6.3 Fertigungsaufwand.....	100
6.4 Konservierung	102
6.5 Montageaufwand.....	102
6.6 Zusammensetzung der Herstellungskosten.....	103
7 Zusammenfassung.....	104
VII Tabellenverzeichnis	110
VIII Abbildungsverzeichnis	111
IX Literaturverzeichnis	114
X Anlagen	115
A Zeichnung der statischen System	116
B Stahlbauübersichtszeichnung des Kesselgerüsts.....	117
C Zeichnung der Anschlüsse des Referenzobjektes.....	118
D Berechnung gelenkig angeschlossenener Riegel	119
E Ermittlung des Fertigungsaufwandes	120
F Zeichnung Schweißnahtbenennung.....	121
G CD - Statische Berechnungen Kesselgerüst u.a.....	122

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

1.1.1 Entwicklung des Energieverbrauchs

Der Energiebedarf der Menschheit steigt mit steigendem Wohlstand und steigender Einwohnerzahl stetig an. Auf der Erde verzeichnete man im vergangenen Jahrhundert eine Steigerung des gesamten Energieverbrauches um mehr als das Zehnfache. Die Hauptenergieträger sind Öl, Gas und Kohle.

Die Erzeugung von elektrischem Strom ist eine Verwendung, für welche diese Energieträger verbraucht werden. Allein in Europa stieg die Nachfrage an Elektrizität um 36 % seit dem Jahr 1990, wobei der Anstieg im vergleichbaren Zeitraum in Deutschland bei rund 16 % lag. Somit entspricht die Steigerung der Nachfrage nach Elektrizität in etwa der Hälfte der Steigerungsraten des Bruttoinlandsproduktes. Aus diesem Zusammenhang heraus stellen Länder mit starkem

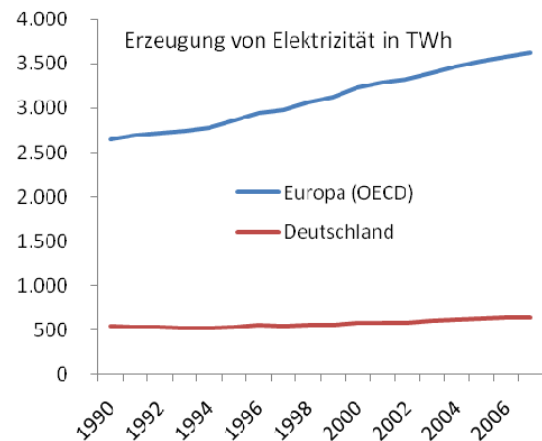


Abbildung 1.1.1 – Erzeugung von Elektrizität
(vgl. /1/ BMWI; 2009)

Wirtschaftswachstum die Märkte dar, in welchen der Energiesektor am schnellsten wächst. Die Hauptressourcen für die Stromerzeugung in Deutschland sind Kernenergie, Braunkohle und Steinkohle. Der wachsende Energieverbrauch der zu den Industrienationen aufschließenden Schwellenländer führt zu einer Verknappung der Ressourcen und treibt die Preise für Erdöl und Erdgas in die Höhe. Der politisch forcierte Ausstieg aus der Kernenergie in Deutschland schränkt die Auswahl der verfügbaren und finanzierbaren Energieträger weiter ein.

Entgegen der allgemeinen Entwicklung sind die Kosten für die Einfuhr von Kohle im Vergleich zu den anderen fossilen Energieträgern in den letzten Jahren nahezu konstant geblieben. Dies hat zur Folge, dass Kohle als ein langfristig verfügbarer fossiler Brennstoff wieder an Bedeutung gewinnt im Vergleich zu den anderen aktuell verwendeten Energieträgern zur Stromerzeugung (vgl. /1/ BMWI; 2009).

1.1.2 Aktuelle Anteile der Energieträger an der Stromerzeugung

Die drei großen Energieträger zur Stromerzeugung sind die Braunkohle, die Kernenergie und die Steinkohle. Regenerative Energien und andere fossile Energieträger bilden die weiteren Energiequellen. Somit ist Kohle mit 44 % Anteil an der Gesamtstromerzeugung der größte Energielieferant in Deutschland.

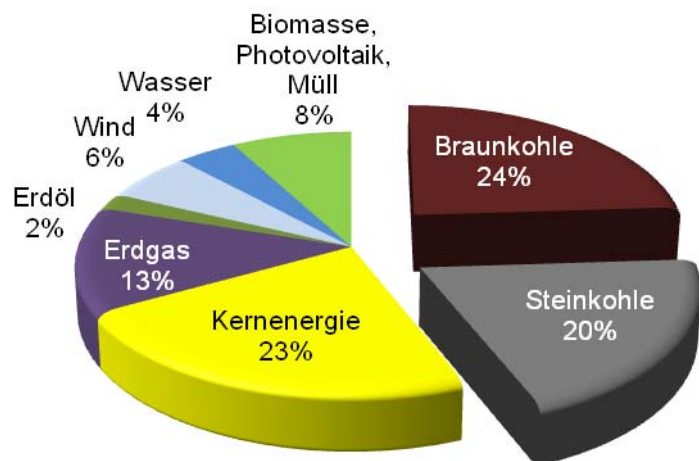


Abbildung 1.1.2 – Energiemix in Deutschland
(vgl. /9/ Gesamtverband Steinkohle; 2008)

1.1.3 Entwicklung der Energieträger

Aufgrund der im Vergleich zu anderen Europäischen Staaten geringen Zuwächse im Stromverbrauch in den letzten Jahren ist die Nachfrage nach neuen Kapazitäten zur Energiegewinnung doch recht überschaubar. Es ist zwar ein stetiger Anstieg zu verzeichnen, jedoch kein signifikanter Sprung. Außergewöhnlich hohe Steigerungen an Kraftwerkskapazitäten sind somit nicht zu erwarten. Die Steigerungen die zu verzeichnen sind, werden vermehrt durch regenerative Energien kompensiert. Biomasse, Photovoltaik, Müllverbrennung und Windkraft sind die wachsenden Energieträger.

Die Kernenergie, Stein- und Braunkohle stellen zurzeit 2/3 der Energieträger, welche für die Stromerzeugung aufgewandt werden. Dieser Anteil ist seit dem Jahr 1990 um rund 18 % rückläufig, jedoch bilden sie immer noch den größten Teil an der Stromerzeugung.

Die Kohle stellt seit jeher einen Grundenergieträger Deutschlands dar, was nicht zuletzt auf den heimischen Braun- und Steinkohlevorkommen beruht. Hierbei werden besonders Rohbraunkohle und Hartbraunkohle in den letzten Jahren für den Binnenmarkt vollständig in Deutschland gefördert und

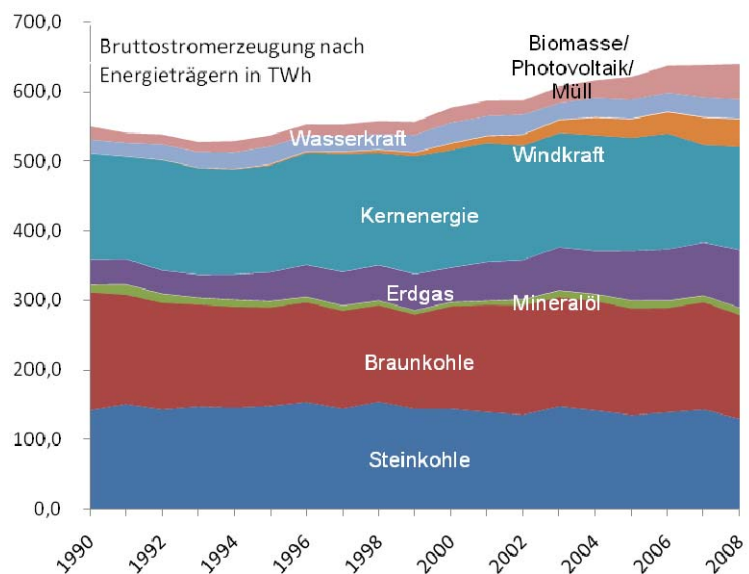


Abbildung 1.1.3 – Entwicklung der Marktanteile der einzelnen Energieträger (vgl. /1/ BMWI; 2009)

zu 91 % an Kraftwerke abgesetzt. In absoluten Zahlen werden somit pro Jahr 165.239.000 t Braunkohle in Kraftwerken für die Erzeugung von Energie aufgewendet.

Der Steinkohleabsatz an Kraftwerke steigt ebenso stetig an, während der Gesamtabsatz zurückgeht. Zudem beträgt der Anteil der Nettoimporte am Primärenergieverbrauch von Steinkohle auf bis zu 70 % in den letzten Jahren. Somit werden deutsche Steinkohlekraftwerke kaum noch mit einheimischer Kohle betrieben. Dies führt dazu, dass Kraftwerksstandorte mit günstiger Anbindung an die Verkehrswege – bevorzugt Wasserstraßen - geplant, ausgebaut oder erweitert werden (vgl. /1/ BMWI; 2009).

1.1.4 Ausblick in die Zukunft

Dem Fakt geschuldet, dass ein großer Teil der bestehenden Kohlekraftwerke mit einem Alter von 25 bis zu 50 Jahren noch in Betrieb sind, werden diese in den kommenden Jahren ersetzt bzw. modernisiert werden müssen.

Aus diesem Grund sind Investitionen in neue, effizientere und auch saubere Kohlekraftwerke unumgänglich. So werden bis zum Jahr 2013, 10 Stein- und Braunkohlekraftwerke ans Netz gehen. Mit einer Investitionssumme von 13,9 Mrd. € und einer Gesamtleistung von 11.331 MW werden somit Kraftwerkskapazitäten ersetzt. Zudem sind noch weitere 6 im Genehmigungsverfahren und 13 im Planungsprozess (vgl. /3/ BUND; 2009).

Wie aus der Darstellung zu ersehen ist stieg der Wirkungsgrad der in den letzten Jahren an das Netz gegangenen fossilen Stromerzeugungsanlagen auf über 40 %. Der Brennstoffeinsatz je TWh für die Stromerzeugung ist von dem Jahr 1990 bis 2007 um 11 % gesunken. Desweiteren werben heute schon Energiekonzerne mit neuen Technologien, die bei zukünftigen Kraftwerken einen Wirkungsgrad von bis zu 50 % realisieren sollen.

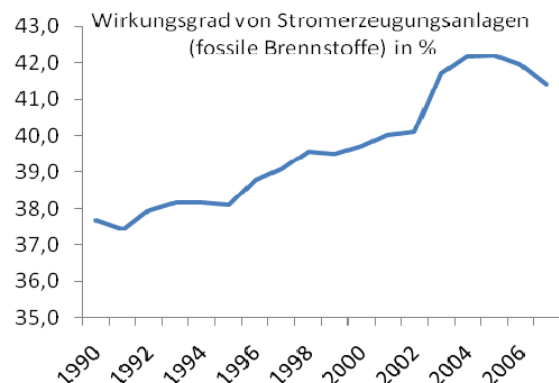


Abbildung 1.1.4 – Entwicklung des Wirkungsgrades von Kohlekraftwerken (vgl. /1/ BMWI; 2009)

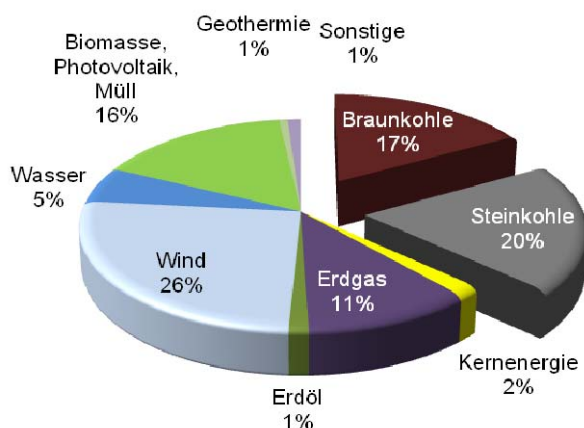


Abbildung 1.1.5 – Prognostizierter Energiemix im Jahr 2020 (vgl. /12/Stern.de; 2009)

Für das Jahr 2020 wird prognostiziert, dass unter Berücksichtigung des Ausstieges aus der Kernenergie hier der Anteil der fossilen Energieträger auf 49,2 % zurückgefahren werden soll. Der Anteil der erneuerbaren Energien soll einen Anteil von 48,1 % von dem Gesamtenergiebedarf decken.

Nach der dargestellten Prognose sinkt der Anteil der durch Kohlekraftwerke gewonnenen Energie auf 36,7 % des Gesamtstromverbrauchs. Der Stromverbrauch an sich soll in den kommenden Jahren geringfügig steigen. Es wird jedoch auch erwartet, dass sich der Stromverbrauch im Jahr 2020 auf dem Niveau von Heute bewegen wird. Dies stützt sich primär auf die Erwartung, dass durch den Einsatz effizienterer Energieverbraucher heute noch ungenutzte Energieeinsparungspotentiale ausgeschöpft werden. Diese Prognosen sind jedoch immer in starker Abhängigkeit zu den politischen Rahmenbedingungen und die Entwicklung der Strommärkte zu sehen.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass Kohle auch als Energieträger in Zukunft noch unverzichtbar bleibt. Kohlekraftwerke sind nach dem politisch beschlossenen Ausstieg aus der Kernenergie unvermeidlich. Besonders Braunkohlekraftwerke, neben Wasserkraftwerken, decken die Grundlast des Stromverbrauchs ab. Diese Aufgabe kann von regenerativen Energien noch nicht oder noch nicht in dieser Größenordnung bewältigt werden.

In welcher Größenordnung sich der Anteil der Stromerzeugung aus Kohlekraftwerken letztendlich bewegt, bleibt abzuwarten. Festzuhalten ist, dass es keine Alternative gibt, welche langfristig solch erschlossene Ressourcen besitzt. Die abbauwürdigen Reserven der Erde von Stein- und Braunkohlevorräten würden zu dem Stand von 2007 bei gegenwärtiger Förderung noch für rund 152 Jahre ausreichen. Weiterhin stehen an Gesamtressourcen der Erde ca. das 19fache der abbauwürdigen Reserven zur Verfügung.

Die globale Nachfrage nach Energie wird ungeachtet dessen weiter ansteigen und zu der Energiegewinnung aus Kohle ist in absehbarer Zeit keine Alternative in Sicht.

1.2 Prinzipielle Wirkungsweise von Kohlekraftwerken

Ein Kohlekraftwerk besteht im wesentlichen aus der Kohleanlieferung und Kohlenzwischenlagerung, dem Dampferzeuger (auch Kessel genannt), dem Maschinenhaus mit den Turbinen, den Luftvorhitzer, den Reinigungsanlagen sowie Schornstein (Kamin) und Kühlturm. Die Reinigungsanlagen sind Entsticker (DeNOX), Entstauber und Entschwefeler.

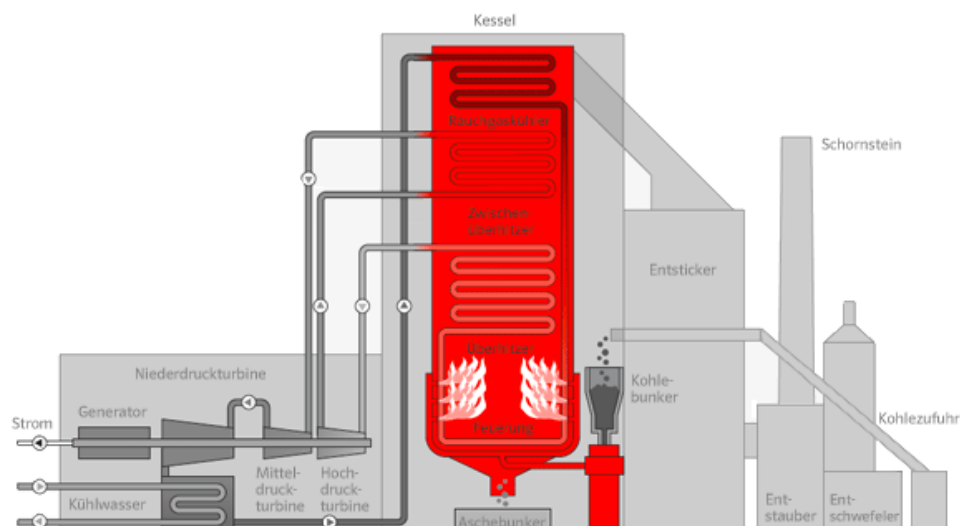


Abbildung 1.2 – Aufbau eines Kohlekraftwerks (vgl. /7/ E.ON; 2009)

Der Dampferzeuger ist die zentrale Anlage in dem Komplex eines Kohlekraftwerks. Die inneren Bauteile des Dampferzeugers bilden die Brennkammer, der Überhitzer, der Zwischenüberhitzer und der Rauchgaskühler.

Die Brennkammer befindet sich im unteren Teil des Dampferzeugers, hier wird die feingemahlene Kohle in einen Strom vorgewärmter Luft, welche durch die Restwärme der Abgase in dem Luftvorheizer (Luvo) erhitzt wurde, eingeblasen und verbrannt. Bei der Verbrennung des Kohlestaubes werden bis zu 1.300 °C erreicht. Diese freiwerdende thermische Energie wandelt in den darüberliegenden Rohrsystemen des Überhitzers das darin befindliche Wasser zu Dampf. Auf diese Weise wird der Dampf weiter bis in den Bereich von 600 °C bis zukünftig 720 °C erhitzt. Der nach dem Durchströmen des Überhitzers Frischdampf genannte Wasserdampf gelangt daraufhin in die 1. Turbinenstufe, die Hochdruckturbine. Dort treibt er die Schaufelräder an, kühlt ab und entspannt sich. In diesem Zustand gelangt der Dampf in den Zwischenüberhitzer, wo er abermals erhitzt wird und die 2. und 3. Turbinenstufe, die Mitteldruck- und die Niederdruckturbine, durchströmt und antreibt. Diese drei Turbinenstufen sind an einen Generator gekoppelt, welcher Strom erzeugt und über den Trafo in das Hochspannungsnetz einspeist. Der Dampf wird anschließend abgekühlt, so dass er wieder zu Wasser kondensiert. Er wird über den Rauchgaskühler vorgewärmt und gelangt wieder an den Ausgangspunkt des Kraftwerksprozesses. Die Abkühlung des Dampfes wird über einen Wasserkreislauf, welcher zu einem Kühlturm oder Gewässer führt, realisiert. Über den Rauchgaskanal werden die Abgase des Verbrennungsprozesses dem Erstickler und den weiteren Reinigungsanlagen zugeführt und letztendlich über den Schornstein in die Atmosphäre abgegeben (vgl. /7/ E.ON; 2009).

1.3 Motivation

Durch die getätigten und noch zu erwartenden Investitionen in dem Bereich des Kohlekraftwerksbaus ist es dahingehend im Interesse der Aufsteller und Hersteller der Tragkonstruktionen von Kohlekraftwerken, zu untersuchen, welche Möglichkeiten und Potentiale diese Bauwerke bieten. Da in den kommenden Jahren kontinuierlich mit Aufträgen aus dem Energiesektor zu rechnen sein wird, sind die Hersteller solcher Konstruktionen natürlich daran interessiert, wirtschaftliche Lösungen zu bieten, um am Markt bestehen zu können. Die Konstruktionen müssen eine effiziente Kombination aus geringem Fertigungsaufwand und bestmöglicher Montierbarkeit darstellen, aber dennoch statischen Erfordernissen standhalten. Kommen Hersteller diesem Anspruch an eine ideale Konstruktion nahe, so ergeben sich automatisch Wettbewerbsvorteile im Vergleich zu anderen Herstellern. Auf diese Art und Weise können auch Standortnachteile gegenüber ausländischen Herstellern, wie z.B. die Lohnkosten, egalisiert werden. Im Anbetracht dieses Hintergrundes soll diese Diplomarbeit dazu beitragen, Zusammenhänge und Wirkungsweisen von Tragkonstruktionen näher zu beleuchten und darzustellen. Die sich daraus ergebenden Resultate sollen Erkenntnisse über das Tragverhalten beinhalten und gegebenenfalls unausgeschöpfte Ressourcen offenlegen.

Das Kesselgerüst eines Kraftwerkes stellt ca. 1/3 des gesamten Stahlbaus eines Kraftwerks dar. Lassen sich hier auch nur geringe Einsparpotentiale feststellen, so bewegen sich diese immer noch in Größenordnungen, welche bei anderen Konstruktionen nicht möglich wären. Aus diesem Grund steht diese Konstruktion im Focus der Untersuchungen.

1.4 Ziel der Arbeit

In dieser Diplomarbeit soll das Tragverhalten von Kesselgerüstkonstruktionen betrachtet werden. Über eine Gegenüberstellung von verschiedenen Kesselgerüstauführungen und deren jeweiligen Besonderheiten wird eine Untersuchung mit einer Referenzkonstruktion geführt. Da die prinzipielle Konstruktion von Kesselgerüsten immer ähnliche Grundzüge aufweist, wird sich die Untersuchung mit Detaillösungen der vergleichbaren Kesselgerüstauführungen beschäftigen. Weitergehend werden auf interessante Objekte sinnvolle Detaillösungen angewendet und mit der ursprünglichen Ausführung verglichen. Die Untersuchung der daraus hervorgehenden Vergleichsgrößen wird dahingehend geführt, dass eine Aussage über die Auswirkungen und die Wirtschaftlichkeit der angewandten Details formuliert werden kann.

1.5 Abgrenzung

Die Untersuchung beschränkt sich auf die Konstruktion des Kesselgerüsts. Angrenzende Konstruktionen des Kohlekraftwerks werden nicht untersucht, jedoch werden die Lasten aus den Kontaktpunkten zu diesen Konstruktionen in dem statischen Modell berücksichtigt. Zu den angrenzenden Konstruktionen zählen die Bühnen (Haupt- und Zwischenbühnen) mit deren jeweiliger Aussteifung, sowie die Hüllkonstruktion des Luftvorheizer-, des Bunkerhauses und des Kesselhauses selbst.

Die grundlegenden Parameter, in dessen Rahmen die Untersuchung stattfindet, beziehen sich auf das Kohlekraftwerk Maasvlakte (MPP3) als Referenzobjekt. Die Abmessungen, Struktur, verwendeter Werkstoff und die maßgebenden Lasten sind hierbei die konstanten Größen. Die vorhandenen Querschnittsverhältnisse sollen gewahrt bleiben, um vergleichbare Resultate zu erzielen. Zum anderen werden die Randbedingungen sowie die Annahmen, welche zur Erstellung der statischen Berechnungen für das Kraftwerk Maasvlakte getroffen wurden, in der Untersuchung ebenfalls angesetzt.

Die Untersuchungen dieser Diplomarbeit enden auf Oberkante Fundament. Die Lasten aus den statischen Berechnungen bzw. aus dem Statik-Modell werden als Grundlage für die Untersuchung als richtig und vollständig angesehen und verwendet. Somit erfolgt keine Untersuchung der Lastannahmen, diese sind im Kapitel 0 der statischen Berechnungen des Referenzobjektes enthalten und zu entnehmen. Alle Berechnungen werden entsprechend der Erläuterungen der statischen Berechnungen aus diesem Kapitel geführt, d.h. nach DIN 18800. Die Bemessungsgrundsätze der Untersuchung entsprechen denen der Referenzstatik. Eine detaillierte Auflistung der bestehenden statischen Berechnungen ist unter dem Abs. 4.3.2 ersichtlich.

2 Theoretische Grundlagen von Kesselgerüstkonstruktionen

2.1 Grundsätzliches zu Kohlekraftwerken

Die Struktur von Kohlekraftwerken wird in der Regel als Stahlbaukonstruktion ausgeführt.

Die wesentlichen Bestandteile sind Kesselhaus, Maschinen- oder Turbinenhaus, Bunkerhaus und Luftvorheizerhaus. Das Kesselhaus beinhaltet das Kesselgerüst, in dem der Kessel aufgelagert bzw. eingehangen ist, sowie die Bühnen für Wartungszwecke und die umhüllende Konstruktion. Das Maschinenhaus, teilweise auch Turbinenhaus genannt, beinhaltet die technischen Geräte und Generatoren für die Umwandlung des Wasserdampfes in elektrische Energie. In dem Bunkerhaus sind die Silos bzw. Bunker zur Beschickung des Kessels enthalten. Im Luftvorheizerhaus werden die Abgase zum Vorwärmen der Verbrennungsluft für den Kessel aufgeheizt. In den meisten Fällen sind Kesselhaus, Bunkerhaus und Luftvorheizerhaus miteinander verbunden. Das Kesselgerüst übernimmt dann die Aussteifung dieser Gebäude in alle Richtungen. Somit ist es die zentrale Konstruktion.

Die Lasten, welche das Kesselgerüst aufnehmen muss, resultieren aus der Eigenlast und aus äußeren Einwirkungen wie z.B. Wind und Schnee. Die Eigenlast des Kessels sowie die veränderlichen Lasten im Kessel, wie z.B. Kohle, Wasser, Asche etc., werden durch die Kesseldecke ebenfalls in das Kesselgerüst eingeleitet. Zusätzliche werden noch

- Stabilisierungslasten,
- Lasten aus Wartungsbühnen,
- Lasten aus Rohrleitungen sowie
- Lasten aus Temperatureinwirkungen des Dampferzeugers

angesetzt. All diese Lasten sind von dem Kesselgerüst aufzunehmen und in die Fundamente abzuleiten.

Aufgrund der aussteifenden Funktion des Kesselgerüsts sind die Kesselgerüstwände als Fachwerke ausgebildet. Hierbei kommt meist eine K-Fachwerkkonstruktion zum Einsatz, da sie hohe Vertikalkräfte über kurze Wege in die Stützen ableitet. Schweißprofile, ausgeführt als I-Profile oder Kastenquerschnitt, kommen für die Haupttragstruktur bevorzugt zum Einsatz. Diese sind aufgrund der Lasten selten zu umgehen. Walzprofile kommen in der Regel nur für die Konstruktion der Wartungsbühnen, der Hüllkonstruktion oder als Sekundär-Stahlbau zum Einsatz.

Entsprechend der Fachwerktheorie übertragen alle ausfachenden Stäbe nur Normalkräfte und sind gelenkig in der Fachwerkebene an die Konstruktion angeschlossen. Im Kraftwerksbau hingegen hat sich die Rahmenfachwerkkonstruktion als bevorzugtes statisches System durchgesetzt. Dies bringt eine Umlagerung der Biegemomente in die

Stütze mit sich. Daraus sind kompaktere Riegelquerschnitte möglich, jedoch wird die Schnittkräfte-Einleitung in die Stütze aufwändiger. Die Verformbarkeit der Struktur nimmt hingegen ab.

2.2 Tragwerke eines Kohlekraftwerks

In den folgenden Abschnitten werden die Konstruktionen erläutert, die bei einem Kraftwerk die Hauptstrukturen darstellen. Aufgrund ihrer Lage und Anordnung im Bauwerkskomplex flankieren sie das Kesselgerüst oder sind direkt angeschlossen.

2.2.1 Kesselgerüst mit Tragrost

Die Lasten des Dampferzeugers werden von dem Tragrost, auch Kesseldecke genannt, aufgenommen und über das Kesselgerüst in die Fundamente abgeleitet. Die Lasten aus der Kesseldecke werden über Schneidlager in das Kesselgerüst eingebracht. Dies stellt die gelenkige Lagerung des Tragrostes dar. Weiterhin werden Lasten aus dem Kesselhaus und anderen im Kesselhaus installierten Anlagenkomponenten aufgenommen. Die Grundgeometrie besteht aus einem rechteckigen oder quadratischen Grundriss. Die 4 Stützen bilden die Eckpfeiler der Konstruktion. Sie können als geschweißte Kasten- oder I-Profile ausgeführt werden. Dies gilt ebenso für die Riegel und die Ausfachung. Bevorzugt wird S355 JR als Stahlsorte für das Kesselgerüst eingesetzt, was hinsichtlich der hohen Spannungen und die im Verhältnis stehenden Kosten zu S235 sinnvoll ist. Die Achsmaße der Stützen zueinander können von 20 m bis zu 33,5 m betragen. Die Bauhöhen der dafür erforderlichen Tragroste werden dementsprechend mit 3,5 m bis 7,0 m ausgeführt. Größere Dimensionen sind weiter möglich, hierbei ist jedoch das zu hebende Stückgewicht und die Montagefreundlichkeit stets zu berücksichtigen. Das Kesselgerüst mit Tragrost macht rund 35 % des Stahlbauvolumens der Struktur eines Kohlekraftwerkes aus. Die Form des Tragrostes ist abhängig von der Aufhängung des Dampferzeugers. So können die Hauptlasten aus dem Dampferzeuger in den mittleren Hauptträgern oder auch an den äußeren Trägern eingeleitet werden; jeweils in Abhängigkeit der Gestaltung der Aufhängung des Dampferzeugers.

Die konstruktive Ausbildung des Kesselgerüsts wird durch das gewählte statische System, den Dampferzeuger und durch die Anordnung der Aggregate, Rohrleitungen und Kanäle bestimmt (vgl. /4/ Dessel, T; 2006).

Die Konstruktion folgt dem Anspruch, im Hinblick auf eingesetzte Massen, Verformungen, den Freiheitsgrad der Anlagengestaltung, Fertigung und Montage wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu entsprechen. Stützenstöße werden in der Regel als Kontaktstöße ausgeführt mit Kopf- und Fußplatten. Eine mechanische Bearbeitung der Kontaktflächen der Stützen, welche an die Kopfplatten anschließen, ist hierbei unumgänglich, um die vorgegebenen Toleranzen hinsichtlich der vertikalen Ausrichtung einzuhalten. So ist z.B. die

zulässige Lotabweichung des gesamten Kesselgerüsts auf $H/3000$ in der Richtlinie VGB-R 501 H, festgelegt. Eine andere Möglichkeit der Stoßausbildung zwischen den Stützenabschnitten ist der Schweißstoß.

Die Längssteifen, die bei den meist als Kastenträger ausgeführten Stützen notwendig sind, um ein Beulen der Wandbleche zu verhindern, bieten die Möglichkeit, als Montagefixierung genutzt zu werden. So können z.B. hervorstehende Längssteifen bei Schweißstößen als Lagesicherung verwendet werden. Da jedoch Montagestöße häufig mit Kontaktplatten ausgeführt werden, ist dies kaum noch in Verwendung. Bei den Kontaktstößen mit geschraubten Verbindungen wird die Montagefixierung über aufgeschweißte Zapfen erreicht. Diese werden in die dafür vorgesehenen Bohrungen in der Gegenplatte eingeführt und sichern somit die Lage der Baugruppen zueinander, um die Verbindungsmittel einzubringen.

2.2.2 Kesselhaus

Das Kesselhaus bildet die abschließende äußere Hülle um das Kesselgerüst und den Dampferzeuger. Diese kann als hängende oder als stehende Konstruktion ausgeführt werden. Eine Kombination beider Systeme ist ebenso möglich, was bei großen Bauhöhen bereits dem Standard entspricht und parallele Montagevorgänge ermöglicht. In dem Kesselhaus werden neben Wand- und Dachbekleidung auch Anlagentechnik und Wartungsbühnen eingebaut. In Abhängigkeit der Größe des Kraftwerks werden Bühnen in 20 bis 40 Ebenen erforderlich sein.

Für die hier meist verwendeten Walzprofile kommt S235 JR zum Einsatz. Teilweise erforderliche Schweißprofile werden, wie beim Kesselgerüst, aus S355 JR gefertigt. Die Stabilisierung wird über vertikale Verbände erreicht. Das Kesselhausoberteil sowie der Rauchgaskanal werden an den Kragarmen der Hauptträger des Trägerrostes aufgehängt.

2.2.3 Bunkerhaus und Luftvorheizerhaus

Das Bunkerhaus beinhaltet die Kohlebunker, in denen der Kohlestaub zwischengelagert und in den Kessel eingeblasen wird. Das Bunkergerüst, welches die Kohlebunkertaschen aufnimmt, und die Hüllkonstruktion mit den Bühnen bilden die Grundstruktur des Bunkerhauses. Die Bunkertaschen bestehen aus versteiften Blechen, die in Abhängigkeit von der Kohleart zusätzlich mit einer Innenbeschichtung versehen sind.

In dem Luftvorheizerhaus (Luvo) sind Luftvorwärmer und Gebläse untergebracht. Auch hier ist ein Gerüst zur Aufnahme des Luftvorheizers mit aufgesetztem Rauchgaskanal sowie Hüllkonstruktionen mit Bühnen zur Bedienung und Wartung enthalten.

Das Bunkergerüst sowie das Gerüst im Luvohaus, auf dem der Rauchgaskanal ruht, werden aus S355 JR gefertigt. Bühnen und Hüllkonstruktion werden vornehmlich aus Walzprofilen mit der Stahlgüte S235 JR hergestellt.

2.3 Kesselgerüstkonstruktion

2.3.1 Tragstruktur

Die Größe eines Kesselgerüsts ist im Allgemeinen abhängig von der Leistung der Anlage und von dem verwendeten Brennstoff. Somit wächst das Kesselgerüst mit steigender Leistung des Dampferzeugers. Kohle als Brennstoff fordert die größten Abmessungen des Dampferzeugers und somit des Kesselgerüsts, im Vergleich zu gleichen Anlagen, welche Gas oder Öl als Brennstoff verwenden. Dabei erfordern Braunkohlekraftwerke größere Abmessungen als vergleichbare Steinkohlekraftwerke, welche die identische Leistung aufweisen. Gründe dafür sind die unterschiedlichen Brennwerte der Kohlenart. Die Bauhöhen, abhängig von der Leistung des Dampferzeugers, bewegen sich in dem Bereich von 30 m bis 170 m.

Kesselgerüste gleichen einander zwar sehr stark, doch genauer betrachtet ist jedes ein Unikat und unterliegt den jeweiligen Anforderungen des Dampfkessels.

Die Ausführung der Konstruktion erfolgt häufig als Stahlbaukonstruktion, wobei eine Kombination des Stahlbaus mit Stahlbetonstützen oder Verbundbauteilen ebenfalls möglich ist. Der Treppenturm ist ein Teil des Kohlekraftwerkes, welcher grundsätzlich als Stahlbetonbauwerk gefertigt wird. Brandschutztechnische Gründe und der Fakt, dass der Treppenturm ein eigenständiges Bauwerk ist, d.h. nicht mit dem Kesselhaus statisch verbunden ist, machen ihn als Fluchtweg unersetzbar. Weiterhin gibt es Untersuchungen, den Treppenturm als Pylon oder Stütze auszuführen. Die hohen Druckkräfte lassen die Stahlbeton- bzw. Verbundbauweise recht sinnvoll erscheinen, jedoch sind im Hinblick auf die einzuhaltenden Toleranzen sowie die Anschlussgestaltung der Riegel und Bühnenträger Grenzen gesetzt, die in Massivbauweise schwer einzuhalten sind.

Die Form des Kesselgerüsts wird durch die Führung der Rauchgaskanäle, Frischluftkanäle und Rohrleitungen bestimmt. Die sich daraus ergebenden Forderungen an Freiräume für diese Komponenten bestimmen die Konstruktion des Kesselgerüsts maßgebend.

Die Lasten aus dem Kessel bzw. Dampferzeugers und dessen Inhalt dominieren die Ausführung des statischen Systems. Weitere Lasten kommen zu dem aus den einzelnen Bühnen, aus den vorhandenen Kraftwerkskomponenten (Luvo, Rauchgaskanal etc.) sowie aus den verschiedenen Aggregaten und Rohrleitungen, welche zum Betrieb des Dampferzeugers notwendig sind. Äußere veränderliche Lasten werden je nach Ausführung der Hüllkonstruktion ebenfalls auf das Kesselgerüst abgetragen. Dies gilt auch für die Hüllkonstruktion selbst, wenn sie als abgehangene Konstruktion ausgeführt wird.

Für die Konstruktion ist hauptsächlich die Stahlsorte S355 im Einsatz, aufgrund der höheren mechanischen Eigenschaften.

Die drei folgenden Varianten für die Ausführung von Kesselgerüsten sind die in der Praxis am häufigsten angewendeten und haben sich im Kraftwerksbau etabliert (vgl. /5/ *Stahlbau Handbuch*, S. 739 ff.; 1985).

- Rahmenkonstruktion

Die Vorteile einer reinen Rahmenkonstruktion liegen auf der Hand. Die freien Öffnungen in allen Richtungen lassen dem Anlagenplaner außerordentliche Freiräume zur Gestaltung des Kessels und der anschließenden Komponenten. Die Ausführung der Anschlüsse bzw. die steife Ausführung der Anschlüsse ist recht aufwändig für die Fertigung. Für die Montage ist dieses statische System äußerst günstig. Im Hinblick auf die Verformung ist diese Variante sehr „weich“. Die Steifigkeit wird nur über die Anschlüsse erreicht, welche dann dementsprechend ausgeführt werden müssen. Der Einsatzbereich dieser Form der Kesselgerüste erstreckt sich bis zu einer Bauhöhe von ca. 70 m. Höhere Konstruktionen benötigen zur Begrenzung der horizontalen Auslenkung zusätzliche Ausfachungen.

- Fachwerkkonstruktion

Bei dieser Ausführung wird der Fachwerktheorie Rechnung getragen und alle Anschlüsse als gelenkig ausgeführt. Hierbei findet keine Momentenumlagerung aus dem Riegel in die Stütze statt. Somit ist damit zu rechnen, dass die Riegel in ihrer Dimension wachsen im Vergleich zum biegesteifen Anschluss. Es werden weiterhin nur geringe Steifen bzw. Schotte im Inneren der Stütze zum Einleiten der horizontal angreifenden Last aus den Riegeln erforderlich sein. Die gelenkigen Anschlüsse sind für die Montage einfacher, jedoch werden während der Montage immer wieder kritische Punkte zu durchlaufen sein, da die Konstruktion erst ausgesteift ist, wenn alle Stäbe in einem Feld montiert wurden. Doch meist werden die Wandschlüsse als vormontierte Elemente aus Riegel und dazugehörigen Diagonalen montiert, was nach jedem Montagevorgang jeweils ein statisch geschlossenes System darstellt. Die Freiheit der Planung und Gestaltung der Anlagentechnik und Rohrleitungsführung wird durch die Diagonalen deutlich eingeschränkt.

- Rahmenkonstruktion mit aussteifenden Diagonalen

Diese Variante bietet die Vorteile der hohen Stabilität im Montagezustand aufgrund des statischen Systems und der Verformungssteifigkeit einer Fachwerkkonstruktion. Die Einschränkung hinsichtlich der Durchführungen von Kraftwerkskomponenten muss hier wieder hingenommen werden. Diese Konstruktion ist im Vergleich zu den vorangegangenen die steifste hinsichtlich ihrer horizontalen Verformbarkeit.

Die im Kraftwerksbau auftretenden Lasten führen dazu, dass die Verwendung von Walzprofilen an ihre Grenzen stößt. Diese kommen vornehmlich bei den Haupt- und Zwischenbühnen und als Tragkonstruktion für die Verkleidung des Kesselhauses zum Einsatz. Für das Kesselgerüst selbst verwendet man Schweißprofile. Der geschweißte Kastenquerschnitt ist die gebräuchlichste Form zur Ausführung von Stützen. Die meist quadratische Querschnittsform bewegt sich in dem Bereich von 1,5 m bis 2,5 m als

Kantenlänge des Querschnitts. Der Einsatz von Steifen zur Stabilisierung der Querschnittselemente ist hier trotz des höheren Fertigungsaufwandes recht wirtschaftlich. Aus Blechen geschweißte I-Profile als Stützenquerschnitt gelten bis ca. 60 m Bauhöhe noch als wirtschaftlich (vgl. /5/ *Stahlbau Handbuch*, S. 757; 1985).

2.3.2 Montagestöße

Im Regelfall werden notwendige Montagestöße als Kontaktstoß ausgeführt. In der Stütze sind die Normalkräfte die dominierenden Schnittgrößen, so dass der Einfluss von Momenten gering bleibt. Die Bemessungswerte der Schweißnähte der Kopfplatten können, unter Berücksichtigung von Kontakt der Bauteile, abgemindert werden. Was einen günstigeren Fertigungsaufwand darstellt. Die Verbindungsmittel können bei Kastenquerschnitten je nach Anzahl nur Innen, nur Außen oder in kombinierter Form beidseitig der Profilwand angesetzt werden. Bei der inneren Verschraubung sind Mannlöcher in den Anschlussplatten vorzusehen, um die Verbindungsmittel fügen zu können. Wesentlich einfacher stellt sich der Aufwand zum Einbringen der Verbindungsmittel bei den offenen Querschnittsformen dar, da sie von Außen frei zugänglich sind. Aber auch hierbei sollte genug Freiraum für das Einbringen und das Vorspannen der Verbindungsmittel vorgesehen werden.

Eine weitere Möglichkeit der Ausführung von Stützenstößen ist der Montageschweißstoß. Diese Stoßart unterteilt man noch in Montagestoß mit Kontakt und Montagestoß ohne Kontakt. Diese Unterteilung bezieht sich einzig und allein auf die Schweißnahtvorbereitung. Berühren sich beide Stützenprofile, so besteht Kontakt, berühren sie sich nicht, so ist es ein Montagestoß ohne Kontakt. Die Realisierung dieser Stoßarten wird durch den Einsatz von Führungsknacken, Schrauben und Futter- bzw. Kammbleche so gesteuert, dass die zu verbindenden Bauteile exakt übereinander sitzen. Dem geringeren Fertigungsaufwand in der Werkstatt steht der höhere Montageaufwand gegenüber. Die längere Verweilzeit des anzuschließenden Bauteils am Kranhaken, Vorwärmen des Stoßes auf der Baustelle und das Schweißen in Zwangsposition sind Gründe des höheren Montageaufwandes. Jedoch ist auch zu bemerken, dass, wenn günstige Schweißbedingungen vorliegen und die Fertigungsvoraussetzungen einen Kontaktstoß zulassen, der Montageschweißstoß mit dem Kopfplattenstoß konkurrieren kann (vgl. /5/ *Stahlbau Handbuch*, S.758 ff.; 1985).

Die Riegel und Diagonalen des Kesselgerüsts können ebenso wie die Stützen in verschiedenen Formen ausgeführt werden. Der grundsätzliche Profilquerschnitt entspricht meist dem der Stützen. Je nach Schnittkräften besteht hierbei auch die Möglichkeit, Walzprofile einzusetzen. Wahrscheinlicher ist aber aufgrund der großen Kräfte, dass Schweißprofile zum Einsatz kommen.

Werden die Stäbe als Kastenprofile ausgebildet, so ist abzuwägen, ob der Einsatz von Steifen oder eine Abstufung der Blechstärken sinnvoll ist. Dies ist jeweils für Riegel und Diagonalen getrennt zu betrachten. Die Ausführung als geschlossener Kasten ist für den Korrosionsschutz günstiger, da der Innenraum nicht konserviert werden muss. Für von innen

begehbare Profile können Innenverschraubungen vorgesehen werden. Dies erhöht jedoch den Montageaufwand erheblich. Es müssen Mann- oder Handlöcher in den Kopfplatten und den Riegelstegen vorgesehen werden. Es ist anzustreben, die Abschottung des Kastenprofils so vorzusehen, dass nur die Endbereiche offen gestaltet sind.

Die Riegel sind die Bauteile, an denen der Anschluss an die Stützen und der Diagonalen sowie die Anschlüsse der Bühnenträger zu platzieren sind. Der Tatsache geschuldet, dass diese Anschlüsse alle in mehreren Ebenen wirken, sind hierbei die Fertigung und Montierbarkeit die alles dominierenden Bereiche.

Die Anschlüsse der Diagonalen werden prinzipiell gelenkig ausgeführt, da die Diagonalen der Ausfachung dienen und somit nur Normalkräfte aufweisen. Am Kopfpunkt werden die Diagonalen über Knotenbleche mit dem Riegel zusammengeführt. In welchen Größenordnungen sich das Knotenblech bewegt, ist abhängig von den zu übertragenden Kräften, der geometrischen Lage der Systemlinien bzw. von den erforderlichen Verbindungsmitteln. Die Schwerelinien der Diagonalen können sich in der Schwerelinie des Riegels treffen, was die sinnvollste Ausführung wäre. Da in diesem Fall die Profile auf den Systemlinien liegen würden, ermöglichen sie einen klaren Kraftfluss. Die Knotenbleche könnten hierbei bereits in den Riegelstegen integriert werden. Ist dies aus den verschiedensten Gründen, wie z.B. Rohrdurchführungen, Anordnung von Komponenten der Anlage etc., nicht möglich, kann eine Spreizung bzw. Exzentrizität der ausfachenden Stäbe gewählt werden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass dadurch zusätzliche Schnittkräfte in dem Anschluss und ebenso in dem Riegel auftreten.

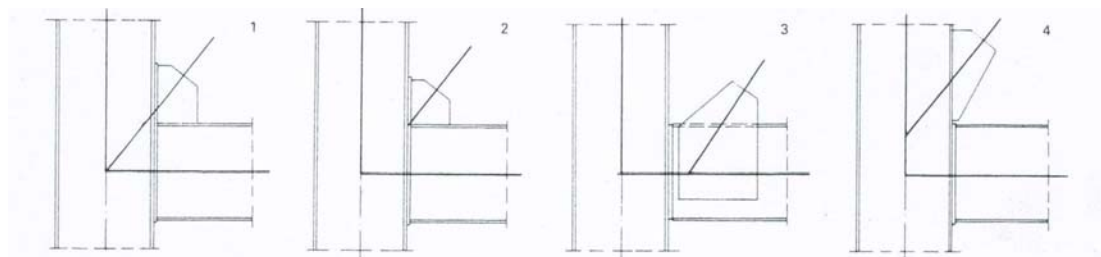


Abbildung 2.3.2 – Möglichkeiten der Ausbildung des Diagonalenanschlusses im Knotenbereich (vgl. /5/ Stahlbau Handbuch, S. 740; 1985)

Bei dem Anschluss der Diagonalen an den Fußpunkt kann das Profil auf der Systemlinie liegen und das Knotenblech die Lasten in dieser Kraftwirkungslinie direkt auf den Knotenpunkt weiterleiten. Die Schwerelinie der Diagonale kann aber auch in dem Wurzelpunkt zwischen Riegel und Stütze münden, so dass sich die Normalkraft der Diagonale in eine Horizontalkraft und eine Vertikalkraft aufteilt. Die dadurch zusätzlich entstehenden Momente im Anschlussbereich stellen häufig kein Problem dar. Diese Variante des Anschlusses hat den Vorteil, dass sich hier kompakte Knoten- bzw. Anschlussbleche realisieren lassen. Für gelenkige Anschlüsse ist der Anschluss an Riegel oder Stütze der zweckmäßigste, da hier große Freiheiten in der Gestaltung des Anschlusses gegeben sind. Der Anschluss der Diagonale an den Riegel ist hierbei jedoch der Gebräuchlichste. Er ermöglicht es, dass Diagonale und Riegel ein in sich geschlossenes System bilden und

keine Abhängigkeit von der Stütze besteht. An die Stützen werden somit maßgeblich Vertikalkräfte und anteilig Normalkräfte aus dem Riegel abgetragen.

Der Anschluss kann von vornherein dahingehend vereinfacht werden, wenn bei Kastenquerschnitten die Riegel- und Diagonalenbreiten identisch sind. Werden die Knotenbleche an Riegel und Diagonalen verschraubt, so sind Futterbleche zum Ausgleich der Wandstärkenunterschiede zwischen Diagonalen- und Riegelsteg notwendig. Bei an den Riegel verschweißten Knotenblechen steigt hingegen der Anspruch an die Genauigkeit der Werkstatt, weiterhin sind Transportmassen und maximale Transporthöhen zu berücksichtigen (vgl. /5/ *Stahlbau Handbuch*, S. 739 ff.; 1985).

Je nach statischem System werden die Riegel gelenkig oder biegesteif angeschlossen. In Abhängigkeit der zu verbindenden Profilformen werden die Anschlüsse über Kopfplatten oder Kontinuitätslasche an die Stütze geführt. Eine Kombination dieser beiden Varianten ist ebenso möglich. So wird die Verbindung am Obergurt mittels einer Lasche und am Untergurt als Kontaktstoß bzw. als Stirnplatte ausgeführt. Grundsätze der Ausführung der Anschlüsse sind, dass möglichst wenig Verbindungsmittel sowie geringe Schweißnahtquerschnitte zum Einsatz kommen sollen, soweit dies möglich ist. In der Regel werden HV-Schrauben der Güteklasse 10.9 verwendet.

2.3.3 Montagevorgänge

Auf der Baustelle finden oft parallele Montagevorgänge statt. So z.B. werden während der Montage des Kesselgerüsts am Boden stehend das Kesselhaus und der Rauchgaskanal vormontiert. Mit Hilfe von Hubsystemen können diese vormontierten Konstruktionen in ihre vorgesehene Position gehoben und an das Kesselgerüst angeschlossen werden. Zudem werden Nebengebäude, wie Bunkerhaus und Luvohaus, gleichzeitig dazu montiert. Das Kesselgerüst mit dem Dampferzeuger ist das zentrale Objekt, welches alle Termine bestimmt. Im Allgemeinen liegen die Zeiten von Planung bis Inbetriebnahme bei 40 bis 48 Monaten, die Fertigungs- und Montagezeiten bewegen sich zwischen 16 und 24 Monaten (vgl. /4/ *Dessel, T.*; 2006).

2.3.4 Verhältnis Stahlbau - Anlagenbau

Der Anteil des verarbeiteten Stahls für die Tragkonstruktion in einem Kraftwerk liegt bei 5-10%. Die übrigen Anteile entfallen auf den Anlagenbau.

Dieses Verhältnis zwischen Anlagenbau und Stahlbau verdeutlicht recht gut die Prioritäten der einzelnen Interessen. Aus diesem Grund ist die Gestaltung der Tragkonstruktion in erster Linie von den Anforderungen des Anlagenbaus abhängig. Die Freiheiten des Tragwerkplaners zur Gestaltung sind somit recht eingeschränkt, da vom Anlagenplaner meist auf der Basis von vorhandenen Konstruktionen die Planung erfolgt. Aus diesem Grund sind grundsätzliche Änderungen der Tragstruktur nur schwer zu realisieren. Es besteht somit immer ein Kompromiss zwischen den statischen Erfordernissen und den Ansprüchen der Anlageplanung.

2.4 Kesselgerüst Maasvlakte

Das neu entstehende Kraftwerk Maasvlakte Power Plant 3 (MPP3) wird im Auftrag der Gesellschaft E.ON-Benelux im Rotterdamer Hafen im Industriegebiet Maasvlakte errichtet.

Die unmittelbare Nähe zur Nordsee bietet die Möglichkeit der direkten Kühlwasserversorgung. Kühltürme werden aus diesem Grund nicht benötigt und die Leistung ist im

Vergleich zu ähnlichen Kraftwerken im Binnenland sogar geringfügig höher. Desweiteren ermöglicht die Lage am Meer, die direkte Anlieferung der Steinkohle mittels Seeschiffen in unmittelbarer Nähe zum Kraftwerk.

Die Bruttokapazität des neuen Steinkohlekraftwerks beträgt 1.100 MW, dies entspricht 7 % des niederländischen Stromverbrauchs. Baubeginn war 2008 und im ersten Halbjahr 2012 soll die Anlage betriebsbereit sein (vgl. /8/ E.ON; 2009).

Auf der Basis des Kesselgerüsts Maasvlakte werden die Untersuchungen in den folgenden Kapiteln geführt. Die Resultate werden zudem gegenüber dieser Konstruktion verglichen und ausgewertet.



Abbildung 2.4 – Kraftwerk Maasvlakte
(vgl. /8/ E.ON; 2009)

Die Daten zur Konstruktion lauten wie folgt:

Kesselgerüst	Höhe	125,0 m
	Breite	30,0 m
	Länge	33,5 m
	Stahlmassen	ca. 3500 t

Generalplanung	Hitachi Power Europe
----------------	----------------------

Ausführungsplanung	Fichtner - Köppl Ingenieure GmbH, Rosenheim
--------------------	---

3 Variantenuntersuchung statischer Systeme

3.1 Vorbemerkungen

3.1.1 Beschreibung der Untersuchungsgrundlage

In dieser Untersuchung werden auf der Grundlage des Referenzobjektes des Kraftwerksneubaus Maasvlakte verschiedene Möglichkeiten der Ausführung von Ausfachungen bzw. Gestaltung von Kesselgerüst-Wänden betrachtet. Die Abmessungen des statischen Systems mit den Riegelbreiten werden als konstante Größen in der Untersuchung für alle möglichen Varianten beibehalten. Die Führung der aussteifenden Stäbe bestimmt somit die Variantenuntersuchung.

Um Aussagen über die einzelnen Varianten treffen zu können, werden die Massen, die Verformung, die Durchlässigkeit der Fachwerkscheibe sowie die Flächen für den Korrosionsschutz aufgenommen. Die Gegenüberstellung der verschiedenen Varianten soll Aussagen über die spezifischen Merkmale ermöglichen.

3.1.2 Randbedingungen der Untersuchung

Aus der Struktur des Kesselgerüsts wurde eine Fachwerkscheibe zur Untersuchung der verschiedenen Möglichkeiten herausgelöst. Die Vergleiche der verschiedenen Varianten der Fachwerkscheibe sollen Aussagen über die Varianten zueinander ermöglichen und somit Rückschlüsse auf die Werte eines räumlichen Systems zulassen. Eine Extrapolation der ermittelten Zahlenwerte auf die eines räumlichen Systems ist jedoch nur bedingt möglich, da hier hauptsächlich nur die Lasten einer Wandscheibe für die Bemessung verwendet wurden. Dies soll aber auch nicht die Aufgabe dieser Untersuchung darstellen. Hier sollen verschiedene Ausführungsmöglichkeiten der Ausbildung einer Kesselgerüstwand miteinander und gegen ein Referenzobjekt verglichen werden, um daraus Rückschlüsse auf günstigere Gestaltungsvarianten ziehen zu können. Die Wand 7 des Kesselgerüsts Maasvlakte wurde für die Untersuchung ausgewählt. Die Hauptlasten aus dem Dampferzeuger, welche über den Tragrost auf das Kesselgerüst abgeleitet werden, lagern auf den oberen Riegeln der Wände 7 und 13. Die Entscheidung für die Wand 7 wurde aufgrund der hier anliegenden größeren Schnittgrößen in dem Ausgangsmodell getroffen.

Das Modell der Wand 7 ist in der Ebene, an den ursprünglichen Anschlusspunkten der Riegel der Wände H und M, gelenkig gelagert. Die Anschlüsse der Riegel an die Stützen übertragen im Ausgangsmodell Momente um die beiden Hauptachsen, dies wurde bei der Lagerung der Wand außen vor gelassen, da durchaus die Möglichkeit besteht, zusätzliche Freiheitsgrade in der Gesamtkonstruktion zu ermöglichen. Zudem besteht nur ein geringer bis gar kein Einfluss auf die Bemessung.

Um die Bemessungssituation für alle Varianten vergleichbar zu gestalten und um eine Basis für eine spätere Auswertung zu besitzen, wurden folgende Festlegungen getroffen:

- Die eingezogenen Stützen werden auch in den folgenden Modellen, soweit es aus statischen Gründen vertretbar ist, weiterhin mit berücksichtigt, d.h. dass die oberen Stützenabschnitte einen kompakteren Querschnitt (1800 x 2500) erhalten als die unteren Stützenabschnitte (2500 x 2500).
- Die Außenabmessungen der Stützen bleiben gewahrt, die Riegel- und Diagonalenbreiten werden mit 800 mm ebenfalls beibehalten. Dies entspricht der Spezifikation des Kesselgerüsts Maasvlakte und ist notwendig, um einfache Anschlüsse der Diagonalen an die Riegel zu ermöglichen. Zudem beinhalten die Lastfälle Momente, welche auf der Exzentrizität der Anschlüsse der Bühnenträger beruhen. Diese resultieren aus dem Anschluss der Bühnenträger im Abstand von 400 mm zum Schwerpunkt des Profils. Dies ist für die Untersuchung der Fachwerkscheibe zwar nicht entscheidend, jedoch für die Bemessung der Stäbe ausschlaggebend und somit für die Ermittlung der Massen zu berücksichtigen.
- Um eine vergleichbare Ausgangssituation für die Untersuchung zu schaffen, werden nur Materialstärken von 10 mm bis max. 60 mm verwendet. Sind größere Wandstärken erforderlich, so wird die Querschnittsgeometrie entsprechend angepasst. Die Mindestwandstärke der Stützen ist mit $t = 20$ mm angesetzt. Die Unterteilung der Stäbe in verschiedene Querschnittsabschnitte wird an die vorhandenen Abstufungsabmessungen angelehnt, d.h. die Zuordnung der Querschnitte nach Stäben bzw. Stabzügen wird weiter beibehalten.
- Die sich aus den verschiedenen Varianten ergebenden Anforderungen an die Querschnittsgeometrie werden über die Profilhöhen berücksichtigt.
- Es werden die Stützenquerschnitte nur als Kastenquerschnitte, ohne Steifen, im Modell berücksichtigt. Die statischen Untersuchungen der einzelnen Varianten beschränken sich auf die Spannungs- und Stabilitätsuntersuchung, d.h. es werden keine Berechnungen oder Nachweise zu dem Thema Plattenbeulen geführt.

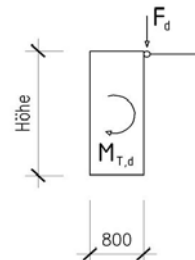


Abbildung 3.1.2 – Torsionsmomente

Die Bemessung der Varianten erfolgt mit dem Stabwerksprogramm RStab 6.03 der Firma Dlubal Ing. Software, die Nachweise werden mit dem RStab-Zusatzmodul STAHL (Spannungsanalyse) und KAPPA (Biegeknicknachweis) geführt.

Die Lage der Riegel wird für die Untersuchung der Fachwerke nicht verändert. Es werden die verschiedenen Variationen der Anordnung der Diagonalenstäbe betrachtet. Aufgrund der unterschiedlichen Schnittgrößen der Varianten werden die Dimensionen der Riegel je nach Ausführung unterschiedlich ausfallen. Die eingezogenen Stützen in dem Bereich des 5. und 6. Schusses werden, soweit es möglich ist, beibehalten.

3.1.3 Modifikationen des statischen Modells

Das verwendete RStab-Modell basiert auf dem Gesamtmodell des Kesselgerüsts.

Die Lasten aus dem ursprünglichen Modell wurden angepasst bzw. gestrichen. Die Lastfälle LF8/LF24/LF42/LF43/LF44/LF51/LF52/LF53/LF54/LF55 wurden dahingehend bearbeitet, dass die Linienlasten, welche rechtwinklig zu den Ebenen H und M wirken, umgewandelt wurden zu Einzellasten, welche in der Ebene der Wandscheibe wirken. Die Horizontallasten, wie z.B. Windlasten, Stabilisierungslasten, Rohrleitungslasten etc., der ausgeblendeten Riegel der Achsen H und M werden anteilig auf die Wandscheibe angetragen.

Die Lastfälle LF45/LF46/LF61/LF62/LF73/LF74/LF98 wurden komplett entfernt, da sie nur Lasten beinhalten, welche rechtwinklig in den Hauptachsen H und M auf die selektierte Fachwerkscheibe wirken. Die Wände H und M werden aus diesen Lasten maßgebend beansprucht und sind somit für die Untersuchung uninteressant. Der Einfluss dieser Lasten auf die Untersuchung ist gering bis unbedeutend, aus diesem Grund kann auf ihre Berücksichtigung verzichtet werden. Durch das Entfernen dieser Lastfälle wurde auch die LK21 überflüssig, da sie sich nur aus Lasten zusammensetzt, welche rechtwinklig zu der Fachwerkscheibe und nur in den Ebenen der Stützenachsen wirken.

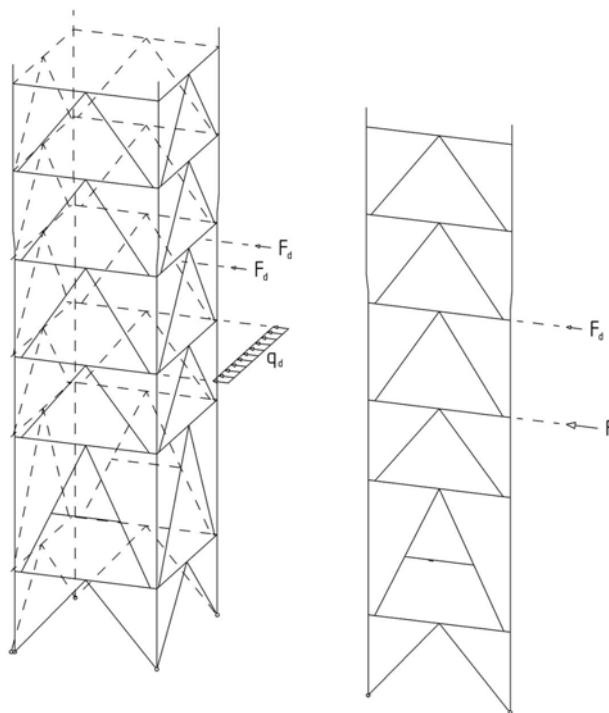


Abbildung 3.1.3 – Schematische Darstellung der Anpassung der Lasten

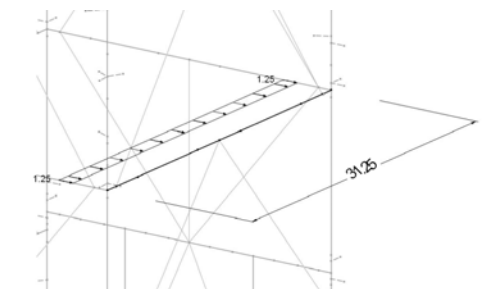


Abbildung 3.1.4 – Linienlast auf Riegel R9 (Auszug Graphik RSTAB)

$$F_d = \frac{q \cdot l}{2}$$

$$F_d = \frac{1,25 \text{ kN/m} \cdot 31,25 \text{ m}}{2}$$

$$F_d = 19,53 \text{ kN}$$

Bsp. Anpassung Lasten Riegel R9 im LF54 (Wind in Y-Richtung)

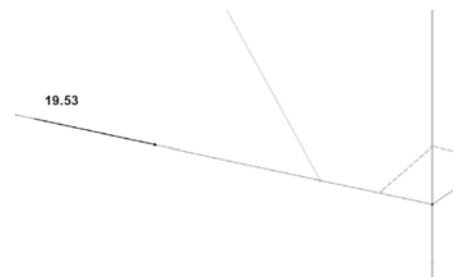


Abbildung 3.1.5 – Anschlusspunkt Riegel R9 mit angepasster Einzellast (Auszug, Graphik RSTAB)

In den Lastfällen LF51 bis LF55 sind dennoch Linienlasten enthalten, welche rechtwinklig zur Fachwerkscheibe auf die Riegel wirken. Diese wurden weiterhin mit betrachtet, um die vorhandenen mehrachsigen Spannungszustände abzubilden.

Die Lasten, die auf den Kragträger aus der Abhängung des Rauchgaskanals wirken, werden in die Ebene der Fachwerkscheibe verschoben, um in den Berechnungen berücksichtigt zu werden. Dies entspricht zwar nicht exakt der ursprünglichen Lastaufteilung, soll aber dazu beitragen, die Wirkung und den Einfluss dieser Lasten besser darzustellen.

Die Bemessung wird mit den maßgebenden Lastkombinationen LK1 bis LK4 bzw. der Lastkombination LK5 geführt, welche die LK1/LK2/LK3/LK4 als ODER-Funktion zusammenfasst. Dies entspricht im Wesentlichen der Bemessungsgrundlage der Referenzstatik. Die Nachweise der Stützen werden abweichend zur Referenzstatik somit nicht mit selektierten Lastfällen und Lastkombinationen geführt.

Die angestrebte Ausnutzung der Bauteile liegt in dem Bereich von 75 % bis 100 % in dem jeweils maßgebenden Nachweis. Die maßgebende Verformung in der Fachwerkebene (in Y-Richtung) wurde aus der Lastkombination LK6 ermittelt, welche nur charakteristische Lasten berücksichtigt. Die Lastfälle werden in Kapitel 4 dieser Diplomarbeit - „Statische Berechnungen des Kesselgerüsts“ ausführlich dokumentiert.

3.2 Variantenübersicht

3.2.1 Grundlagen zur Erstellung der Varianten

Die Varianten bilden sich aus den Kombinationen der verschiedenen Möglichkeiten der Ausbildung des Kopfpunktes und den Ausführungsmöglichkeiten der Aussteifung bzw. Ausfachung. Aus den sich hieraus ergebenden Variationen von Fachwerken werden sinnvolle und interessante ausgewählt und hinsichtlich der bereits genannten Parameter untersucht. Bei der Aufstellung der einzelnen Varianten wird die Anordnung der Anlagentechnik und der Rohrleitungen völlig ausgeblendet und außen vor gelassen.

3.2.2 Variantenübersicht

Die Aufstellung der möglichen Varianten wird in tabellarischer Form dargestellt. In den Spalten sind die verschiedenen Formen der Ausfachung und in den Zeilen die möglichen Ausführungen des oberen Schusses abgebildet. Die hier aufgeführten Varianten erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit aller möglichen Systeme, es ist vielmehr eine Aufstellung statischer Systeme, welche in der Praxis auch Anwendung finden könnten.

Eine Kombination verschiedener Aussteifungsvarianten unterhalb des oberen Schusses wird nicht betrachtet, um die Variantenaufstellung in einem überschaubaren Rahmen zu halten.

Die Gestaltung der Kopfpunkte ist primär der Ableitung der Vertikalkräfte aus dem Dampferzeuger unterworfen. Eine günstige Einleitung dieser Last in die Stützen bzw. eine möglichst günstige Weiterleitung der Schnittkräfte sind hier die Schwerpunkte der Formgebung. Die Aussteifung gegenüber horizontalen Lasten ist hier für die darunterliegenden Schüsse das entscheidende Kriterium.

Die Varianten der Kopfpunkte werden als folgende Systeme verwendet:

Kopfpunktvariante	1	K-Fachwerk
	2	K-Fachwerk nach oben geöffnet, mit Pendelstab bzw. Pfosten
	3	Diagonalen mit Exzentrizität
	4	Diagonalen mit Exzentrizität und Pendelstab
	5	Doppeltes K-Fachwerk
	6	Doppeltes K-Fachwerk ohne gerade durchlaufende Stützen
	7	zu Diagonalen eingezogenen Stützen
	8	Rahmen mit Pendelstab
	9	Rahmen
	10	Auskreuzung mit Zugdiagonalen
	11	Auskreuzung mit Druckdiagonalen

Die Ausfachung dient einzig der Stabilisierung und Aussteifung der Konstruktion. Die horizontalen Lasten werden durch sie abgetragen. Die Riegel werden zusätzlich durch anschließende Bühnen, Anlagentechnik, Kanäle oder Rohrleitungen belastet.

Bei der Betrachtung liegt die Prämisse bei einer möglichst steifen Konstruktion gegenüber der Verformung und einem günstigen Materialbedarf.

Die Varianten der Fachwerke werden als folgende Ausführungen in der Untersuchung betrachtet:

Ausfachungsvariante	1	K-Fachwerk
	2	K-Fachwerk nach Oben geöffnet
	3	Diagonalen mit Exzentrizität
	4	Diagonalen mit Exzentrizität nach Oben geöffnet
	5	Rahmen
	6	Kreuzdiagonalen als Zugstäbe
	7	Kreuzdiagonalen als Druckstäbe
	8	jeweils eine Diagonale im einem Feld, alle Stäbe besitzen gleiche Orientierung
	9	jeweils eine Diagonale im einem Feld, die Orientierung der Stäbe wechselt in jedem Feld

Alle Anschlüsse werden gelenkig um die y-Achse der Querschnitte ausgebildet, d.h. natürlich mit Ausnahme der Verbindungen der Rahmenkonstruktionen.

Die Referenzfachwerkscheibe Maasvlakte wird in der Untersuchung mit betrachtet, um eine Basis für die Auswertung der Resultate zu haben. Hierbei wird aber auch das Referenzobjekt differenziert betrachtet. So wird die Fachwerkscheibe einmal mit biegesteifen Riegelanschlüssen an die Stütze betrachtet (Variante MPP-A), wie es bei dem Kesselgerüst Maasvlakte der Fall ist. Zum anderen wird die Fachwerkscheibe mit rein gelenkigen Anschlüssen untersucht (Variante MPP-B).

		Möglichkeiten der Ausbildung des Kopfpunktes										
Möglichkeiten der Ausfachung	1											
	2											
	3											
	4											
	5											
	6											
	7											
	8											
	9											

Tabelle 3.2.2 – Variantenübersicht

3.2.3 Erläuterungen zur Variantenauswahl

In der Untersuchung werden Systeme betrachtet, welche eine günstige Kraftableitung der Lasten aus dem Kesseldeckenträger versprechen und die Weiterleitung der Schnittgrößen durch die ausfachenden Stäbe sinnvolle Lösungen darstellen. Um einen Gesamtüberblick der hier aufgestellten Varianten zu erlangen, wird mindestens ein statisches System je Spalte und Reihe untersucht. Variationen mit günstigen Resultaten werden jedoch auch differenzierter betrachtet, um umfassende Aussagen zu ermöglichen.

3.2.4 Ausführungen der Kopfform

Die hier gegenübergestellten Teil-Systeme des oberen Schusses sind ebenso wie die Variantenuntersuchung nur zum Vergleich der Systeme zueinander geeignet. Die Punkte der Lastübertragung zur weiteren Ableitung sind hier stellvertretend als Auflager dargestellt. Die Weiterführung der Stützen wird mit einem eingespannten Lager berücksichtigt. Eventuelle Auflager im Bereich der Riegel sind als gelenkige Lagerung, welche rechtwinklig zur Fachwerkebene verschieblich gelagert ist, berücksichtigt.

Bei der genaueren Betrachtung der Kopfpunkte werden folgende Lastfälle bzw. Lastkombinationen untersucht.

LF7 Eigenlast Dampferzeuger

Dies ist der Lastfall mit den größten Vertikallasten. Die 5 Kesseldeckenträger lagern auf dem Riegel R20 und leiten ihre Lasten aus dem Dampferzeuger ein. Die Lasten der mittleren KD-Träger besitzen die maximalen Werte, die äußeren leiten geringere Lasten ein. Durch die Auflagerung der Kesseldeckenträger

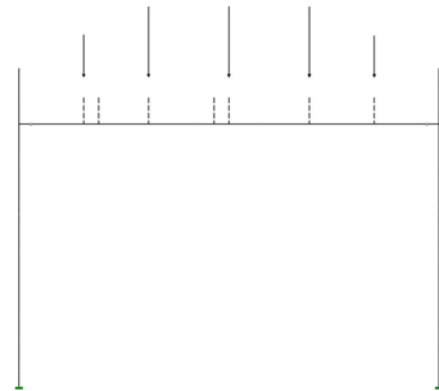


Abbildung 3.2.4-1 – Vertikallasten LF7

wirken ebenso Horizontallasten an der Oberkante des Riegels R20, welche ein bemessungsrelevantes Torsionsmoment M_T nach sich ziehen.

LF54 Wind in Y-Richtung

Der LF54 ist der Lastfall mit den größten Horizontallasten. Die Windlasten verursachen im Bereich des Kopfpunktes nicht nur horizontale Lasten sondern zusätzliche Vertikallasten, welche aus der Dachkonstruktion eingeleitet werden.

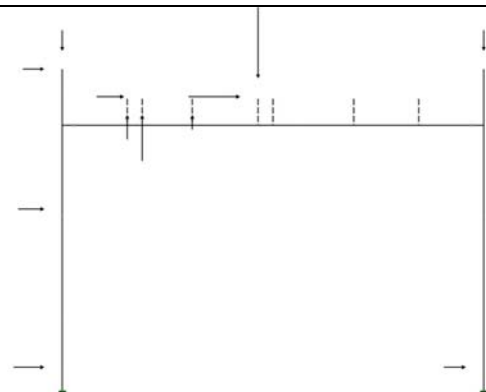


Abbildung 3.2.4-2 – Horizontallasten LF54

LK5 Lastkombination zur Bemessung der Konstruktion. In der Lastkombination werden alle jeweils maßgebenden Lastfälle zusammengefasst. Die Lastkombination LK 5 liefert die Schnittgrößen für die Bemessung der Stäbe.

Die Verläufe der Schnittkräfte sowie Verformungen und Massen werden auf den folgenden Seiten betrachtet. Die statischen Modelle sind mit denen identisch, die in der Variantenuntersuchung der Fachwerkscheibe verwendet werden. Die Schnittkraftverläufe können zwischen den Modellen der Variantenuntersuchung und der Betrachtung der Teilsysteme des Kopfpunktes variieren. Dies ist damit zu erklären, dass in den Modellen der

Varianteuntersuchung die Verformungen und die Nachgiebigkeit der lastabtragenden Konstruktion berücksichtigt werden und somit eine Verschiebung bzw. Verlagerung der Schnittkräfte zu beobachten ist. Teilweise werden durch die weiterführende Konstruktion Schnittkräfte in den oberen Bereich umgelegt, welche in den herausgelösten Teilmodellen nicht berücksichtigt werden können.

Kopfpunkt 1

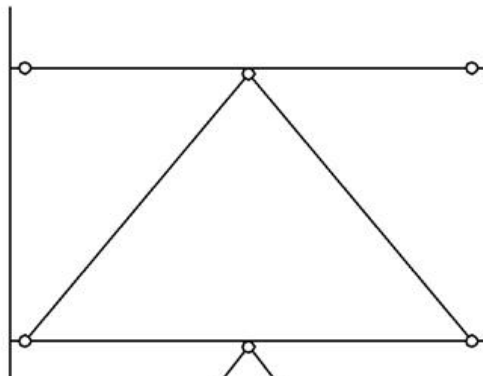


Abbildung 3.2.4-3 – statisches System

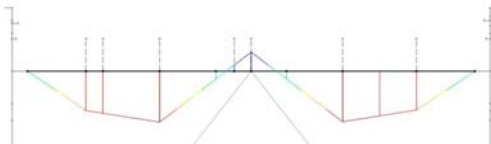


Abbildung 3.2.4-4 – Momentenverlauf LF7



Abbildung 3.2.4-5 – Momentenverlauf LF54

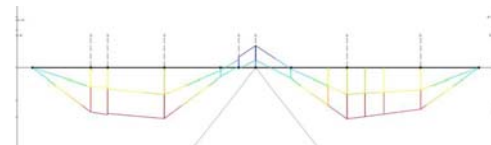
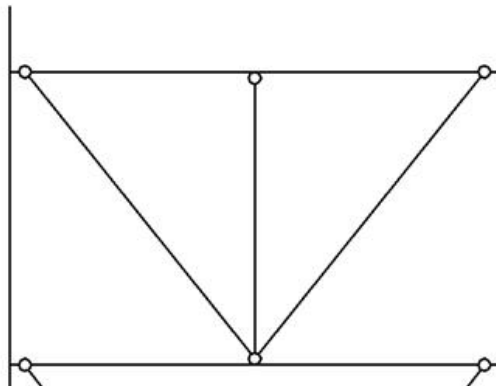
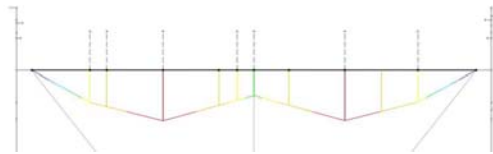
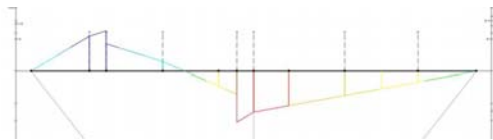
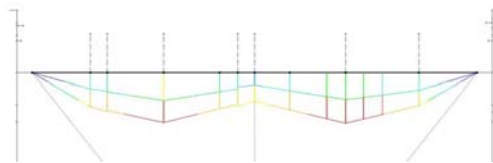
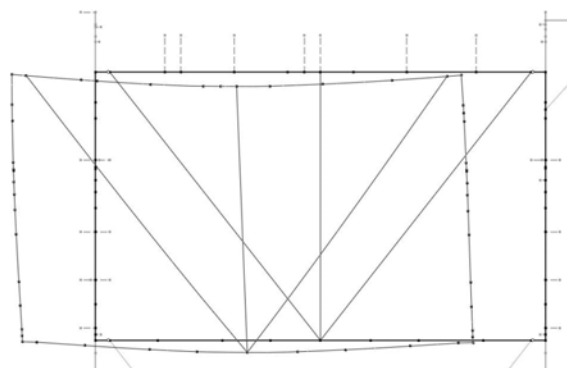


Abbildung 3.2.4-6 – Momentenverlauf LK5

keinen größeren Einfluss auf die Schnittgrößen der Stäbe. Durch eine Auflagerung des Riegels R19 in der Feldmitte würden ca. 2 bis 3 % der Vertikalkräfte darin abgeleitet. Diese kommen überwiegend aus dem Riegel R19 und sind der Aussteifung selbst und nicht dem Kraftfluss aus vertikaler Belastung zuzuordnen.

Der obere Riegel entspricht hier praktisch dem statischen System eines Zweifeldträgers. Die Lasten aus dem mittleren Kesseldeckenträger werden direkt in die Diagonalen eingeleitet, die anderen erzeugen ein Feldmoment, welches für die Bemessung maßgebend wird. Die Stützen und besonders die Riegel sind hier stark auf Normalkraft beansprucht. Die Beanspruchung der Stützen durch Biegemomente ist in den Anschlussbereichen am größten und wechselt über die Länge des Schusses. Hierbei sind die dominierenden Werte an dem Anschlusspunkt des Riegels R20 zu finden. Aufgrund der Auskragung zur Abhängung des Rauchgaskanals erfährt die Stütze der Achse H eine zusätzliche Belastung. In dem Lastfall LF54 wirken Schnittkräfte aus Windlasten im Feld der Stütze, somit bildet sich hier ein Momentenverlauf aus, der einem Einfeldträger unter Einzellast gleicht, da hier die Windlast im Feld der Stütze eingeleitet wird. Die weiterführende Konstruktion bzw. die Ausfachung haben

Kopfpunkt 2**Abbildung 3.2.4-7 – statisches System****Abbildung 3.2.4-8 – Momentenverlauf LF7****Abbildung 3.2.4-9 – Momentenverlauf LF54****Abbildung 3.2.4-10 – Momentenverlauf LK5****Abbildung 3.2.4-11 – Verformung LK6**

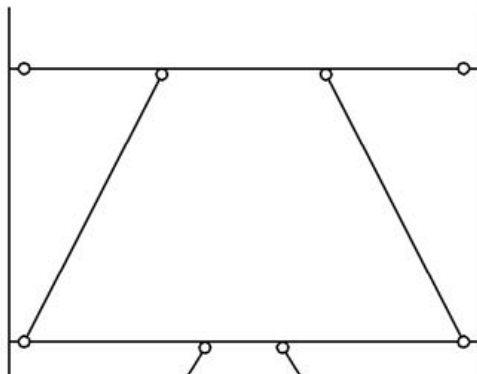
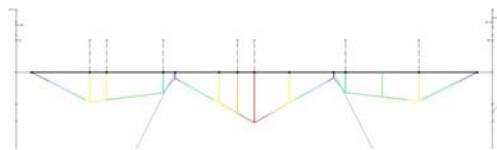
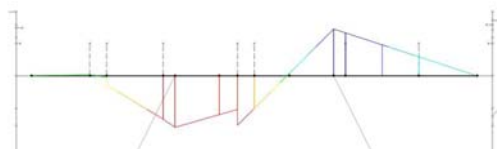
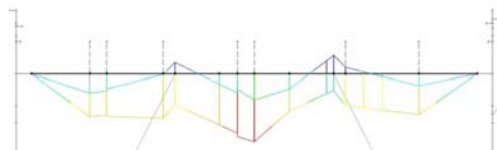
das die Einflüsse aus horizontalen Lasten überdrückt werden. Bei einer Lagerung des Riegels R19 sind die Schnittkräfte wesentlich geringer. Die Wirkung der Horizontallasten wird hier vor allen Dingen in dem Anschlussbereich der Auskragung sichtbar. Je nach Steifigkeit der mittleren Unterstützung ist die Dimension abhängig. Bei einer sehr steifen Stützung sind die Werte der Momente gering, mit größerer Verformbarkeit der Unterstützung wachsen die Momente in dem Stützbereich an.

Bei dieser Variante ist der Riegel R20 praktisch als unterspannter Träger zu betrachten, mit einem Druckpfosten, welcher den Riegel in der Mitte stützt.

Trotz der Stützung des Riegels wird der Verlauf der Momente nicht in den negativen Wertebereich hinein verlagert. Das Ausweichen des Riegels R19 unter der Last aus dem oberen Riegel ist für die fehlende Steifigkeit der Unterstützung des oberen Riegels verantwortlich. Die Diagonalen nehmen die Vertikallasten auf und leiten sie in die Stützen weiter. Dadurch verformen sich die Stützen nach innen hin. Somit wird über die Diagonalen das Durchbiegen des Riegels R19 nicht unterbunden.

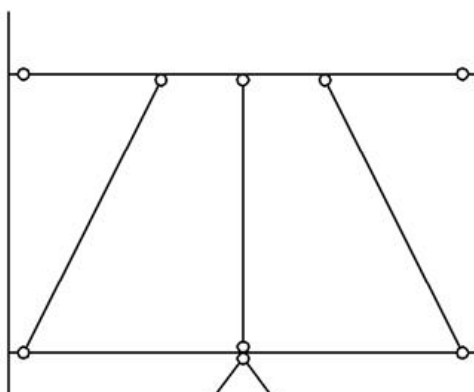
Für die Schnittkräfte des Riegels R20 macht es keinen Unterschied, ob der Riegel R19 in der Mitte von unten her gestützt ist oder nicht. Die Charakteristik der Schnittkraftverläufe ändert sich nicht signifikant. Für die Bemessung sind die Belastungen aus dem Kesseldeckenträger maßgebend. Im Gegensatz zu dem Riegel R20 sind die Stützen unmittelbar von der Gestaltung der Auflagersituation des Riegels R19 betroffen.

In der Bemessungssituation sind bei keiner mittleren Stützung des Riegels R19 die Schnittkräfte aus den Vertikallasten hier so dominant,

Kopfpunkt 3**Abbildung 3.2.4-12 – statisches System****Abbildung 3.2.4-13 – Momentenverlauf LF7****Abbildung 3.2.4-14 – Momentenverlauf LF54****Abbildung 3.2.4-15 – Momentenverlauf LK5**

Bei diesem System ist der obere Riegel in den Drittelpunkten gestützt und entspricht dem statischen System eines Dreifeldträgers. Trotz der identischen Stützweiten sind die Schnittkräfte des mittleren Feldes maßgebend, dies beruht auf der hohen Vertikallast aus dem Kesseldeckenträger. Die 3 mittleren Kesseldeckenträger erhalten die größten Lasten aus dem Dampferzeuger. Die äußeren sind geringer beansprucht. Die hohen Lasten sind ebenso dafür verantwortlich, dass die Momente nicht oder nur gering in den Bereich der negativen Werte durchschlagen.

Die Diagonalen erfahren auch hier die größten Normalkräfte, da diese direkt unter den beiden Kesseldeckenträgern anschließen. Der Riegel R20 wird aufgrund des Abstandes der Diagonalenanschlüsse in diesem Bereich eine zusätzliche Druckkraft erfahren, welche die Querschnitte in diesem Bereich zu rund 15 % höher belastet, im Vergleich zu den anderen Teilabschnitten des Riegels.

Kopfpunkt 4**Abbildung 3.2.4-16 – statisches System**

Bei dieser Kopfpunktausbildung werden die mittleren 3 Träger der Kesseldecke direkt unterstützt, da diese die größten Lasten des Dampferzeugers abtragen.

Durch die Verformungen der darunterliegenden Riegel ist die Stützung in der Mitte sehr nachgiebig, aus diesem Grund schlägt das Moment nicht in den negativen Wertebereich durch.

Bei einer sehr steifen Unterstüttzung wirkt der Momentenverlauf wie bei einem

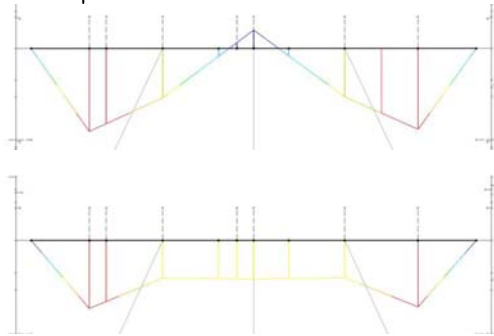


Abbildung 3.2.4-17 – Momentenverlauf LF7

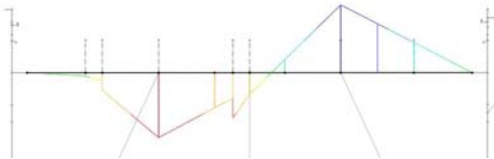


Abbildung 3.2.4-18 – Momentenverlauf LF54

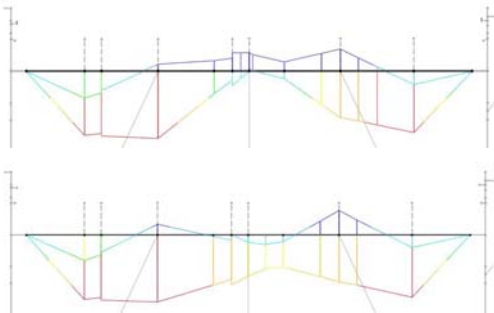


Abbildung 3.2.4-19 – Momentenverlauf LK5

Kopfunkt 5

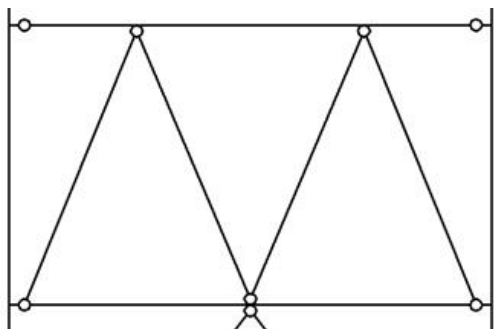


Abbildung 3.2.4-20 – statisches System

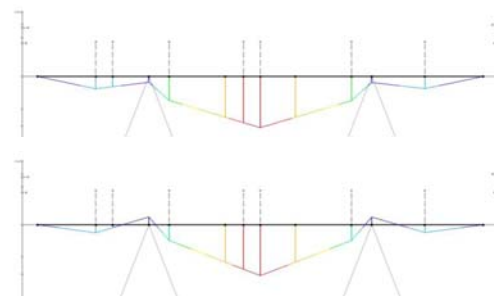


Abbildung 3.2.4-21 – Momentenverlauf LF7

Zweifeldträger. Da diese Steifigkeit kaum zu erreichen sein wird, ist dieser Verlauf nur theoretisch möglich. Unabhängig von der Steifigkeit der mittleren Lagerung ist dies der Bemessung des Riegels untergeordnet. In beiden Fällen liegen die maßgebenden Bereiche in den äußeren Feldbereichen bzw. über den Unterstützungspunkten. Hier bleibt festzustellen, dass die Hüllfunktionen der Momente annähernd identische Werte über weite Strecken des Riegels aufweisen, was eine gleichmäßige Ausnutzung der Querschnitte und stark wechselnde Materialstärken vermeiden würde. Die Diagonalen tragen den größten Teil der Vertikallasten ab, die Stützen sind somit wesentlich geringer auf Normalkraft belastet als bei anderen Ausführungsvarianten.

Hier wird der obere Riegel R20 in den Viertelpunkten von zwei K-Fachwerkdiagonalen unterstützt. Somit ist der Riegel hier ebenfalls ein Dreifeldträger, nur dass die mittlere Stützweite weiter spannt als die äußeren Felder. Da in dem mittleren Bereich die größten Lasten aus der Kesseldecke eingeleitet werden, ist dieser Bereich für die Bemessung maßgebend.

Die äußeren Diagonalen tragen die größten Druckkräfte aus dem Riegel in die Stützen ab. Die Inneren tragen rund die Hälfte der Normalkräfte der äußeren Diagonalen ab. Die Beanspruchung aus den horizontalen Lasten erfolgt gleichmäßig, d.h. alle Diagonalen

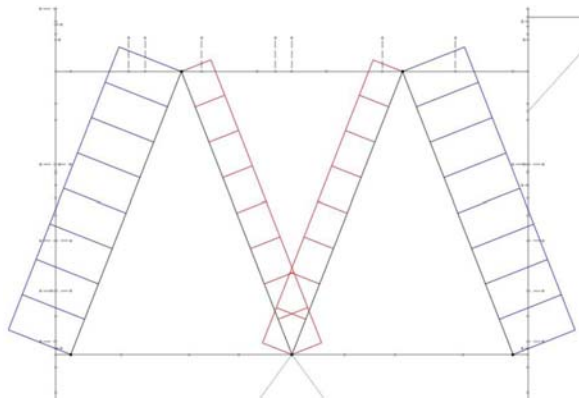


Abbildung 3.2.4-22 – Normalkräfte LF7

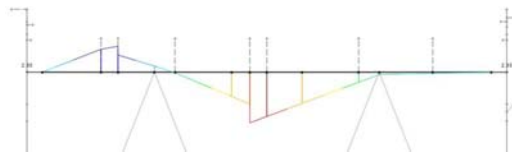


Abbildung 3.2.4-23 – Momentenverlauf LF54

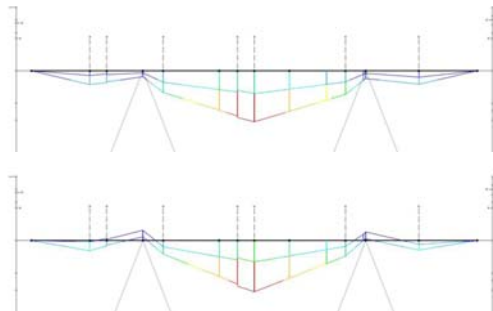


Abbildung 3.2.4-24 – Momentenverlauf LK5

günstigeren Materialverbrauch führt. Die Realität wird jedoch von der Grafik ohne negative Momentenwerte am ehesten abgebildet. Die Steifigkeit wird meist nicht groß genug sein, um den Momentenverlauf so stark zu beeinflussen, dass er in den Bereich der negativen Werte fällt. Somit werden sich die Momente fast ausschließlich im positiven Bereich bewegen.

Aus dem Abstand der Unterstützungspunkte des Riegels R20 resultieren auch hier zusätzliche Normalkräfte im Riegel, welche aufgrund der großen Biegemomente für die Bemessung jedoch nicht maßgebend werden.

Kopfpunkt 6

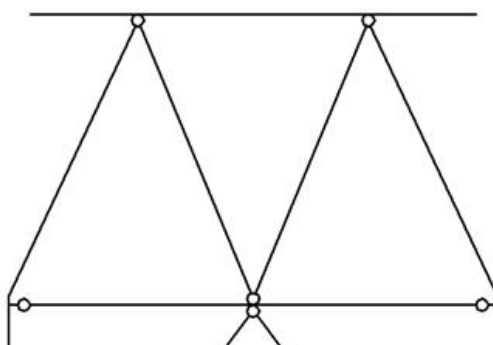


Abbildung 3.2.4-25 – statisches System

weisen ähnliche Schnittgrößen auf, wobei die druckbelasteten Stäbe mehr beansprucht werden als die Stäbe mit Zugbeanspruchung. Sollte die Unterstützung in der Mitte des unteren Riegels nicht vorhanden sein, so tragen die äußeren Diagonalen die gesamte Belastung aus der Kesseldecke in die Stützen ab. Somit wäre eine Verwendung eines solchen statischen Systems ohne mittlere Stützung des Riegels R19 unsinnig.

Je nach Steifigkeit der unterstützenden Konstruktion des Riegels kann das Momentenbild variieren. Die Verformbarkeit des mittleren Knotens des Riegels R19 bestimmt somit deutlich den Momentenverlauf des Riegels R20. Bei einer sehr steifen Unterstützung wird der Momentenverlauf im Bereich der Lagerpunkte in den negativen Bereich verlagert, was zu günstigeren Querschnitten und somit einem

Bei dieser Ausführung ist das statische System des oberen Riegels als Einfeldträger mit Kragarmen an beiden Seiten ausgeführt. Der rechte Kragarm wird durch die Auskragung mit einem Moment aus den Lasten des Rauchgaskanals belastet.

Die Windlasten, die an die Stützen in dem Bereich von +104,250 m angreifen,

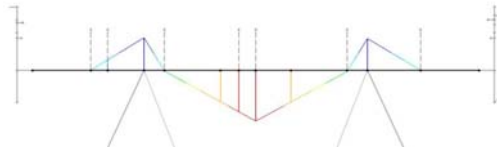


Abbildung 3.2.4-26 – Momentenverlauf LF7

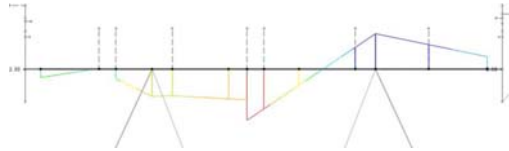


Abbildung 3.2.4-27 – Momentenverlauf LF54



Abbildung 3.2.4-28 – Momentenverlauf LK5

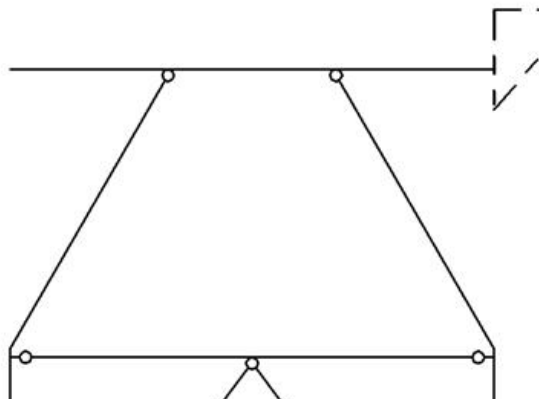
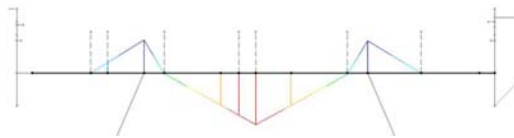
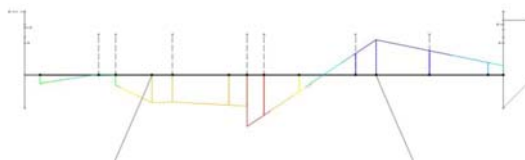
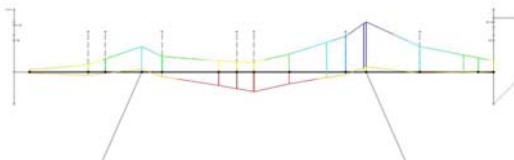
sind für die eingezogenen Stützen sehr ungünstig. Aus diesem Grund müssen diese Lasten über andere Wege der Konstruktion an das Kesselgerüst herangeführt werden.

Die Aussteifung einer räumlichen Konstruktion wird in diesem Bereich schwierig, da die Verbände den eingezogenen Stützen in diesem Bereich nicht folgen können. Der Raum wird durch den Dampferzeuger ausgefüllt. Somit muss der Verband, welcher rechtwinklig zur Fachwerkebene wirkt, unter den eingezogenen Stützen enden

oder der Verband wird gerade nach oben durchgeführt. Das bedeutet, dass in der Ebene rechtwinklig zur Fachwerkebene ein Riegel auf dem Niveau von +109,760 m eingesetzt werden müsste, welcher die Lasten in die Kragarme weiterleitet. Dies würde zu hohen Belastungen der Kragarme um die schwache Querschnittsachse führen (siehe Abs. 3.3.2 – Variante 6-1). Die Diagonalen in der Mitte tragen rund 1/3 der Normalkräfte der eingezogenen Stützen. Je nach der Steifigkeit der weiterführenden Konstruktion kann der Wert bis in den Bereich von 2/3 ansteigen. Hinsichtlich des Momentenverlaufs des Riegels R20 spielt die Steifigkeit der mittleren Stützung keine Rolle. Hier wird die Lagerung des oberen Riegels ganz klar von den eingezogenen Stützen dominiert.

Aus dem Abstand der Unterstützungspunkte des Riegels ergeben sich auch hier zusätzliche Normalkräfte im Riegel, welche sich je nach Steifigkeit der mittleren Stützung im Riegel R19 in bemessungsrelevante Größenordnungen entwickeln können. Meist ist jedoch der Einfluss aus dieser Normalkraft zu vernachlässigen. Je nach der Steifigkeit der Unterstützung können die Schnittkräfte der Stützen aus vertikaler Beanspruchung bis zu 30 % schwanken.

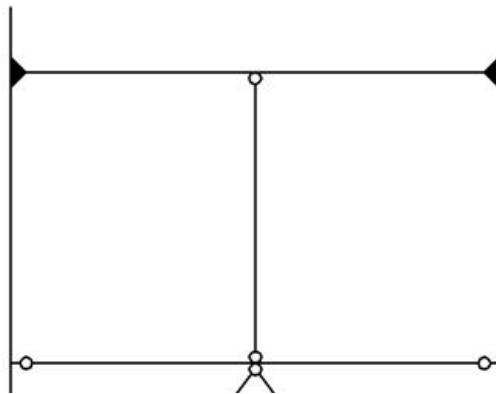
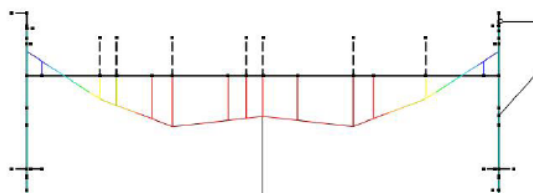
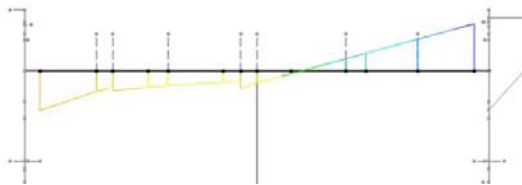
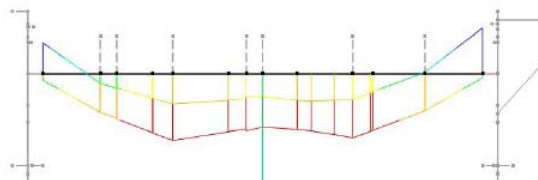
Die Schnittkräfte aus vertikalen Lasten des Riegels können um bis zu 60 % schwanken, in Abhängigkeit von der Nachgiebigkeit der Unterstützung des Riegels R19.

Kopfpunkt 7**Abbildung 3.2.4-29 – statisches System****Abbildung 3.2.4-30 – Momentenverlauf LF7****Abbildung 3.2.4-31 – Momentenverlauf LF54****Abbildung 3.2.4-32 – Momentenverlauf LK5**

Das statische System des oberen Riegels R20 entspricht dem des vorangegangenen Modells. Auch hier wird über die Auskragung ein Moment in den Riegel eingebracht.

Die an die Stützen angreifende Windlast ist auch hier über andere Wege der Konstruktionen in das Kesselgerüst einzuleiten. Die Lasten aus der Kesseldecke lassen die Schnittgrößen im mittleren Bereich - zwischen den Stützpunkten - maßgebend erscheinen. Jedoch werden durch den Kragarm die Schnittkräfte an dem rechten Lagerpunkt des Riegels zur bestimmenden Größe.

Die Aussteifung rechtwinklig zur Fachwerkscheibe ist auch hier ein kritischer Punkt. Wie in dem vorangegangenen Modell beschrieben, ist ein Weiterführen der Verbände entsprechend der Stützen nicht möglich. Das gerade nach oben führen der Verbände ist hinsichtlich der Lastabtragung aufwändig und bringt für die Kragarme der Riegel ungünstige Schnittkräfte.

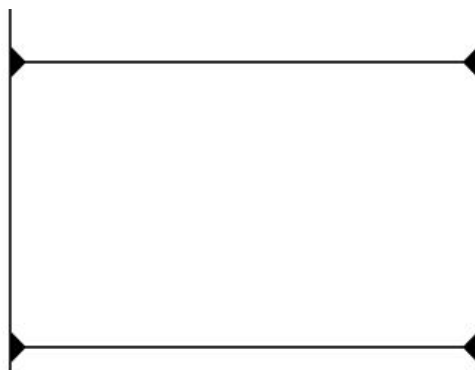
Kopfpunkt 8**Abbildung 3.2.4-33 – statisches System****Abbildung 3.2.4-34 – Momentenverlauf LF7****Abbildung 3.2.4-35 – Momentenverlauf LF54****Abbildung 3.2.4-36 – Momentenverlauf LK5**

Das statische System des oberen Riegels ist ein Zweifeldträger, wobei die oberen Riegel R20 biegesteif an die Stützen angeschlossen ist.

Die mittlere Stützung wird über Pfosten, welche die Lasten in die darunterliegende Ausfachung ableiten, realisiert. Durch die Verformung der Konstruktion kommt diese nur in geringem Maße zum Tragen. Die Schnittkräfte des oberen Riegels entsprechen somit mehr einem Einfeldträger. In Abhängigkeit der Steifigkeit der unterstützenden Konstruktion können die Momentenwerte im mittleren Stützbereich weiter reduziert werden. Die maßgebende Stelle liegt unabhängig von der Steifigkeit der Unterstützung, im Feldbereich des Riegels R20. Die Differenz der maßgebenden Schnittkräfte kann in Abhängigkeit der Steifigkeit bis zu 65 % betragen.

Die Normalkräfte des Prostens werden direkt in die darunter anschließenden Diagonalen abgeleitet und somit in die Stützen eingetragen.

Die Beanspruchung des Riegels R19 wird durch diese Vertikallasten aus der Kesseldecke nur gering beeinflusst

Kopfpunkte 9 bis 11**Abbildung 3.2.4-37 – statisches System**

Bei dieser Gestaltung des Kopfpunktes ist der obere Riegel R20 biegesteif an die Stützen angeschlossen und wird im Feld nicht durch Diagonalen unterstützt. Diese Betrachtung des Kopfpunktes schließt die Ausführungen 10 und 11 hinsichtlich ihrer prinzipiellen Wirkungsweisen mit ein. Die statischen Systeme besitzen gelenkig angeschlossene Riegel, die aber ebenso nicht zusätzlich unterstützt werden. Somit

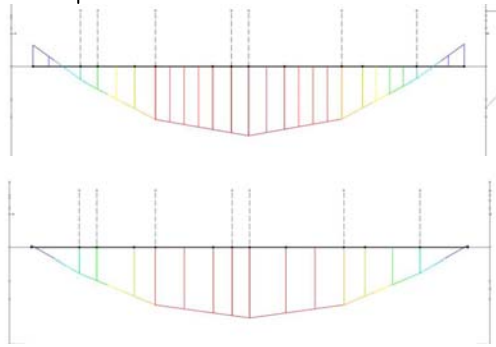


Abbildung 3.2.4-38 – Momentenverlauf LF7

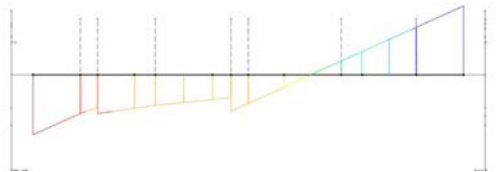


Abbildung 3.2.4-39 – Momentenverlauf LF54

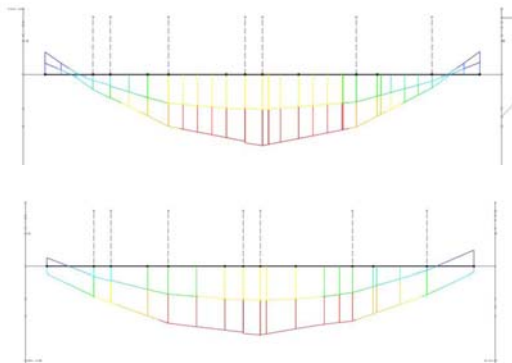


Abbildung 3.2.4-40 – Momentenverlauf LK5

sind die Momentenverläufe faktisch identisch, nur um den Einfluss der biegesteifen Anschlüsse verschoben.

Der Riegel trägt die gesamten Lasten der Kesseldecke in die Stützen ab. Demzufolge ist die Beanspruchung des Riegels in der Mitte am größten.

Die gesonderte Betrachtung dieser Art der Konstruktion ist nicht ohne weiteres möglich. Durch die Rahmenwirkung werden Schnittkräfte aus dem hier nicht betrachteten unteren Teil der Konstruktion über die Stützen in dem Riegel umgelagert.

Die Schnittgrößen der Riegel sind im Vergleich zu allen anderen, in dem Kopfpunkt 2 bei horizontalen Lasten sowie den Varianten 1 und 9 bei vertikalen Lasten am günstigsten. In der Bemessungssituation sind bei den Varianten 1 und 4 die günstigsten Schnittgrößen zu verzeichnen.

Die Varianten 2, 6, 7 und 8 stellen die Ausführungen dar, bei denen die größten Schnittkräfte anliegen. Die Varianten 2, 5 und 8 sind hinsichtlich der vertikalen Lasten die Ausführungen mit den größten Schnittkräften, zudem ist die Variante 8 im Bezug auf die horizontale Lastableitung die Ausführung mit den ungünstigsten Schnittgrößen. Vermieden werden sollten auch die Ausführungsvarianten 6 bis 9, hier liegen in der Bemessungssituation LK5 die größten Schnittkräfte vor.

Die dominierenden Schnittgrößen in den Stützen sind die Normalkräfte und Biegemomente in der Fachwerkebene. Die Normalkräfte vergrößern sich kontinuierlich von oben nach unten hin. Im oberen Bereich ist die Charakteristik der Momentenverläufe je nach Art des Anschlusses des Riegels an die Stütze unterschiedlich.

Bei den Ausführungsvarianten mit senkrechten Stützen ist die Beanspruchung der Stützen im Lastfall LF7 durch Biegemomente in den Anschlussbereichen am größten und wechselt über die Länge des Schusses. Hierbei sind die dominierenden Werte an dem Anschlusspunkt zu Riegel R20 zu finden. Aufgrund des Anschlusses der Auskrantung zur Abhängung des Rauchgaskanals erfährt die Stütze der Achse H eine zusätzliche Belastung.

Die Stützen werden im Lastfall LF 54 annähernd konstant mit einem Moment belastet, in der Achse M führt die im Feld angreifende Windlast zur Einschnürung des Momentenverlaufs. Je nach Ausführung der Konstruktion verschiebt sich der Momentenverlauf, wobei jedoch seine Charakteristik erhalten bleibt. Der Verlauf der Momente in der Stütze der Achse H wechseln die Werte linear vom oberen Anschlusspunkt zum unteren Knotenpunkt das Vorzeichen. Für die Bemessung der Stützen sind die Schnittgrößen aus horizontalen Lasten meist unbedeutend.

Bei der Ausführungsvariante 2 wird besonders die Wirkung der mittleren Lagerung des Riegels R19 deutlich, doch bei keiner Stützung in diesem Bereich sind die Schnittkräfte in der Bemessungssituation aus den Vertikallasten so dominant, dass die Einflüsse der horizontalen Lasten sowie der Einfluss aus dem Konsolträger der Rauchgaskanalaufhängung überdrückt werden. Bei einer Lagerung des Riegels R19 sind die Schnittkräfte aus den senkrecht wirkenden Lasten wesentlich geringer. Die Wirkung anders orientierter Lasten wird hier vor allen Dingen in dem Anschlussbereich des Konsolträgers sichtbar. Je nach Steifigkeit der mittleren Unterstützung ist die Dimension der Momente der Stützkonstruktion abhängig. Bei einer sehr steifen Stützung sind die Werte der Momente gering, mit größerer Verformbarkeit der Unterstützung wachsen die Momente in dem Stützenbereich an.

Im Lastfall LF 54, in dem die horizontalen Lasten betrachtet werden, unterscheiden sich die Verläufe der Momente der Varianten 6 und 7 zueinander. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei der Variante 6 die Diagonalen zur Aussteifung gegenüber horizontalen Lasten aktiviert werden. Somit ist die Beanspruchung hinsichtlich der Biegemomente gering. Nur im unteren Bereich, beim Umschlagen der Momente, sind höhere Werte zu verzeichnen. Bei der Variante 7 wirken die Stützen wie Kragarme, welche mit einer Einzellast beansprucht werden. Hier baut sich ein Moment von oben nach unten auf, was auch auf der lotrechten Strecke der Stütze weiter ansteigt.

Für die Bemessung der Variante 6 sind die Schnittkräfte infolge der vertikalen Belastung maßgebend. Sie bestimmen den Verlauf der für die Bemessung maßgebenden Momente deutlich. Bei der Variante 7 haben die eingezogenen Stützen die Aufgabe der Aussteifung gegen horizontale Lasten mit zu übernehmen. Aus diesem Grund ist hier der Einfluss der horizontalen Lasten für die Bemessungssituation maßgebend.

Die Schnittkräfte der biegesteif angeschlossenen Riegel an die Stützen der Variante und 9 folgen dem klassischen Momentenverlauf von Rahmenkonstruktionen. Die Schnittkräfte sind in den Anschlusspunkten, aus den umgelegten Momenten der Riegel, am größten und wechseln über die Länge der Felder. Die horizontalen Lasten werden rein über die Rahmenwirkung abgetragen, da keine anderen Stäbe für diese Aufgabe zur Verfügung stehen. Für die Bemessung ist jedoch die horizontale Belastung quasi bedeutungslos. Der Momentenverlauf der Lastkombination LK 5 ist klar der Charakteristik aus den vertikalen Lasten zuzuordnen. Ein signifikanter Einfluss aus den Kräften, welche der Konsolträger in die Stütze einleitet, ist ebenfalls nicht zu verzeichnen.

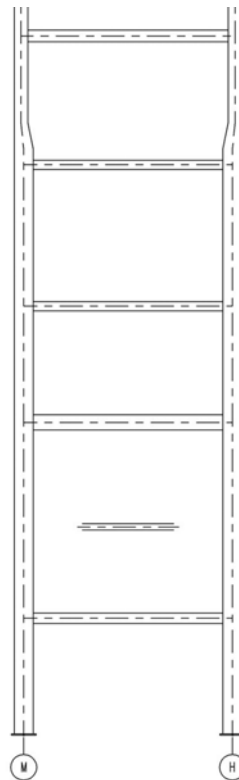
Die Stützen werden durch die Schnittgrößen der Ausführungen 4 und 5 für rein vertikale Belastungen sehr günstig, sie bieten die geringsten Werte aller Varianten. Hinsichtlich horizontaler Belastungen heben sich die Varianten 1 und 5 als sinnvoll heraus. Für die Bemessung der Konstruktion ergeben sich somit die Varianten 1 und 5 als die zu bevorzugenden Systeme. Die größten Schnittgrößen liegen bei den Varianten 7 und 8 vor, was dazu führt, dass von deren Anwendung Abstand zu nehmen ist.

In Anbetracht der Massen ist die Variante 4 der Kopfformausbildung die günstigste. Die Ausbildung der Varianten, 1, 3 und 6 liegen ihr am nächsten. Die Varianten 2 und 9 stellen die größten Massen.

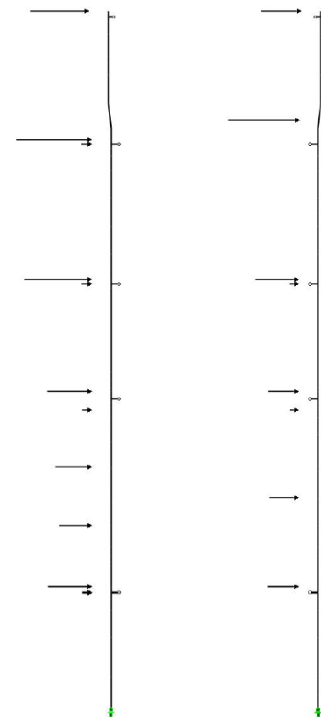
Aus der Betrachtung der hier ermittelten Schnittgrößen in den jeweiligen Laststellungen stellt sich die Variante 4 als das zu bevorzugende System heraus. Die Varianten 1 und 3 dahinter. Das System mit den ungünstigsten Schnittgrößenverläufen stellt die Variante 8 dar.

3.2.5 Ausführungen der Ausfachung

Die unter diesem Punkt betrachteten Teilsysteme der Ausfachung der Fachwerkscheibe betrachten nur das Verhalten der Konstruktion auf die horizontale Beanspruchung. Dafür wird der Lastfall LF54, welcher die maximalen horizontalen Lasten aus Wind berücksichtigt, betrachtet. Diese Teilsysteme entstammen, wie auch die Teilsysteme unter 3.2.4, der Variantenuntersuchung der Fachwerkscheibe. Die Eigenheiten der jeweiligen Konstruktionen werden hier dargestellt.



**Abbildung 3.2.5-1 –
Übersicht Struktur**



**Abbildung 3.2.5-2 – Lastangriff
LF54**

Die Stützen werden maßgebend auf Normalkraft und Biegemomente in der Fachwerkebene beansprucht. Die Normalkräfte sind bei allen Varianten vom Verlauf her identisch. Sie summieren sich aus den Querkräften, welche von den Riegeln an die Stützen abgeleitet werden, etagenweise auf. Die maximalen Normalkräfte liegen logischerweise im untersten Stützenabschnitt bzw. in den unteren Bereichen der Stützen, je nach Führung der Diagonalstäbe in diesem Bereich, an. Die Biegemomente in den Stützen hingegen verlaufen wechselnd. In den Anschlussbereichen der Riegel sind hier die größten Werte zu verzeichnen. Sie resultieren bei gelenkigen Anschlüssen aus dem Hebel, der sich aus dem Abstand der Schwerelinie des Stützenprofils zu dem Anschlusspunkt des Riegels an der Außenkante des Riegelprofils ergibt. Bei biegesteifen Anschlüssen entstammen die Momente in den Stützen aus der Umlagerung der Schnittkräfte aus den Riegeln in die Stütze.

Die hier betrachteten 9 Formen der Ausfachung lassen sich hinsichtlich der Schnittkräfte in den Stützen in vier Gruppen, mit jeweils identischer Charakteristik der Momentenverläufe, gliedern.

Im oberen Bereich werden nur geringe Momente aus den Riegeln eingetragen. Im Bereich des 3. Schusses wechseln die Momente linear den Vorzeichenbereich. In dem darunterliegenden Feld nimmt der Momentenverlauf durch die im Feld angreifenden Horizontallasten einen an-nähernd quadratischen Verlauf an. In dem Anschlusspunkt des Riegels wechselt das Moment und läuft bis zum Fußpunkt auf Null zurück. Aus den Lasten ergibt sich ein ebenfalls wechselnder Verlauf, welcher jedoch an jedem Anschluss-punkt springt.

Die Ausführungsvarianten 2, 4 und 6 sind den Varianten 7 bis 9 sehr ähnlich. Mit dem Unterschied, dass im unteren Stützenabschnitt die Werte der Momente unterschiedliche Vorzeichen aufweisen. Die Momente wechseln hier jeweils an jedem Feld. Die Einzellasten, welche im Feldbereich von +15,800 m bis +41,750 m angreifen, verschieben die Momentenlinie hin zu einem quadratischen Verlauf.

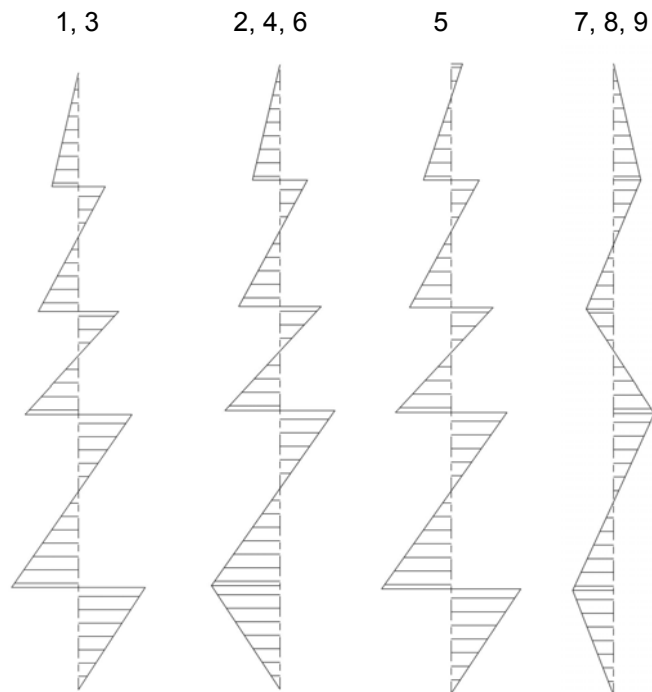


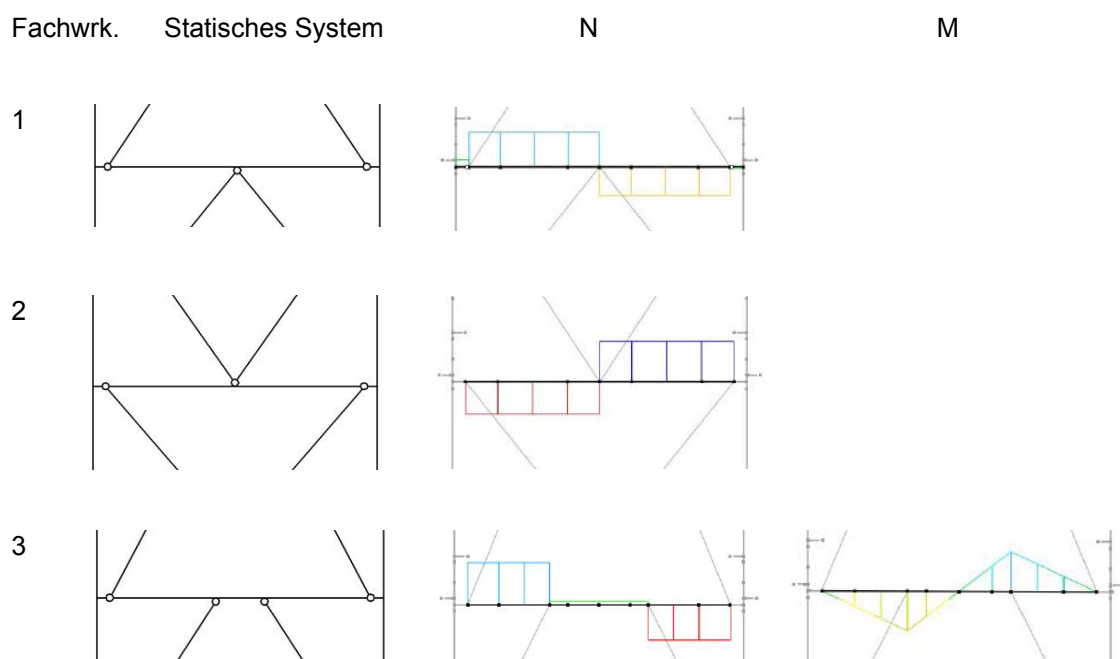
Abbildung 3.2.5-3 – idealisierte Momentenverläufe

Bei der Ausführungsvariante 5 erfolgt die Aussteifung nur über die Rahmenwirkung der Riegel. In der Stütze springt der Verlauf der Momente somit an jedem Riegelanschlusspunkt. Der Einfluss der im Feld angreifenden Lasten kommt aufgrund der dominanten Stabmomente aus der Rahmenwirkung nicht zum Tragen.

Bei den Varianten 7, 8 und 9 sind in den oberen Feldern die Momente ebenfalls sehr gering. In dem idealisiert dargestellten Verlauf ist dieses Wechseln der Richtung an jedem Riegelanschluss zu erkennen. Die reellen Verläufe sind aufgrund der in den Feldern angreifenden Lasten abgelenkt oder als geschlossene Abschnitte betragsmäßig verschoben. Zurückzuführen ist es darauf, dass die Schnittkräfte, welche in die Ausfachung eingetragen werden, durch die Führung der Fachwerkstäbe wieder etagenweise zur den Knotenpunkten der Stütze zurückgeführt werden. Ein Springen des Momentenverlaufs auf jeder Ebene findet somit nur um die Werte, welche aus den Lasten die in der Nähe der Riegelhöhen angreifen, statt.

Die Schnittkräfte in den Stützen weisen in den Varianten 1, 3 und 6 die geringsten Schnittgrößen auf. Die Variante 5 weist die größten Werte auf. An der Stelle des Anschlusses zu dem Riegel R14 liegen bei den Varianten die größten Momente an, mit Ausnahme der Varianten 1, 2 und 3. Hier sind in dem Bereich des Anschlusses zu dem Riegel R16 die maßgebenden oder ähnlich großen Schnittgrößen vorhanden wie am Anschlusspunkt des Riegels R14. Die Momente springen nicht in dem unteren Bereich im Anschlussbereich des Riegels R14, da die Führung der Diagonalen im 1. und 2. Schuss wie eine Auskreuzung von Fußpunkt bis zu dem Riegel R16 wirkt. Somit findet keine Umlagerung der Momente auf der Höhe des Anschlusses des Riegels R14 statt.

Die Riegelprofile sind hinsichtlich ihrer Funktion primär durch Normalkräfte und teilweise durch Querkkräfte beansprucht. Diese wirken von den Anschlüssen der darüberliegenden Aussteifungen bis in den mittleren Bereich, wo sich die Aussteifungen der darunterliegenden Ausfachung anschließen. Bei exzentrisch angeschlossenen Stäben, d.h. mit Abstand, ist die Normalkraft aus horizontalen Lasten in dem mittleren Bereich des Riegels nicht vorhanden. In den Varianten 3 und 4 ist dies der Fall. In den Varianten, wo die aussteifenden Stäbe in den Knotenpunkten des Riegels zur Stütze angreifen, sind die Normalkräfte über die gesamte Stablänge des Riegels konstant. Bei der Ausführungsvariante 5 ist der Wert der Normalkräfte über die gesamte Stablänge konstant. Die Riegel erhalten Normalkräfte aus den Diagonalen und aus horizontalen Lasten, sie wirken jeweils in Richtung der Stützen, mit Ausnahme des unteren Riegels, welcher durch die unteren Aussteifungen entgegengesetzt wirkt. Der Verlauf der Momente in den Stützen entspricht im Wesentlichen dem der anderen Systeme.



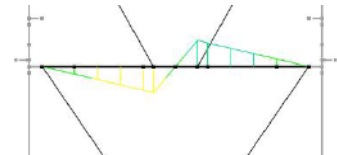
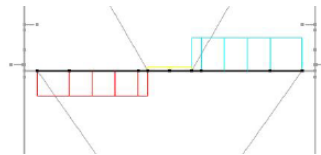
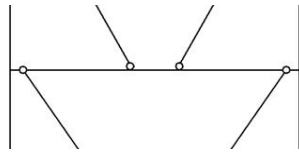
Fachwrk.

Statisches System

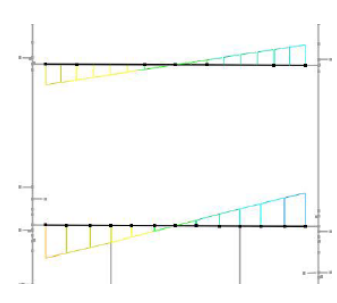
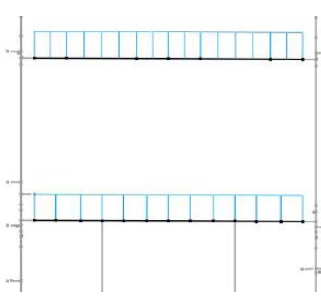
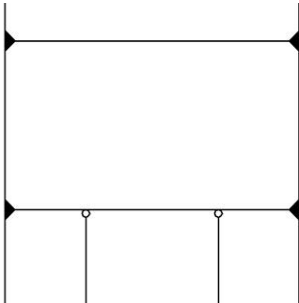
N

M

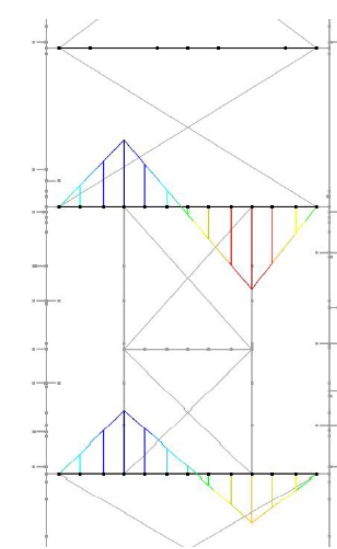
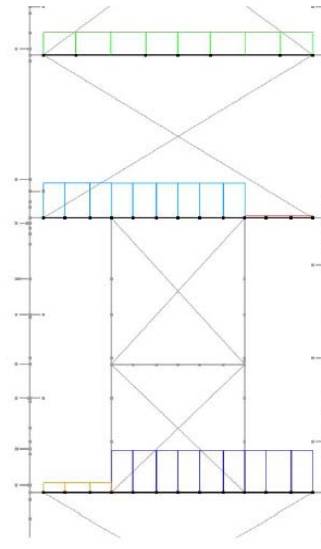
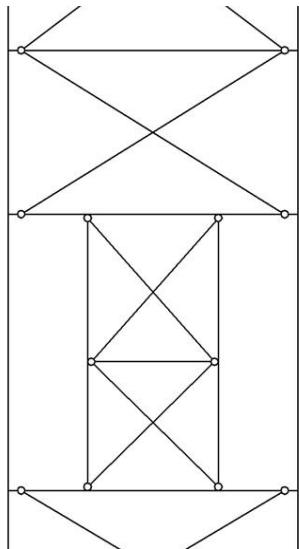
4



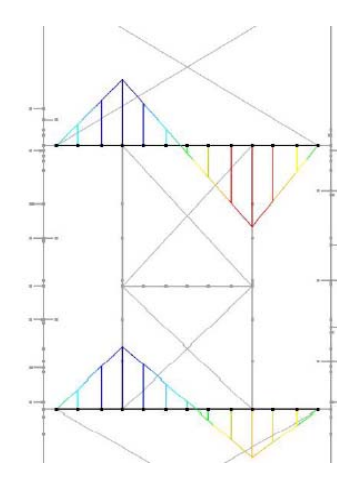
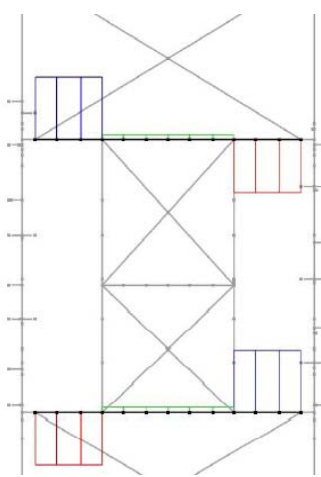
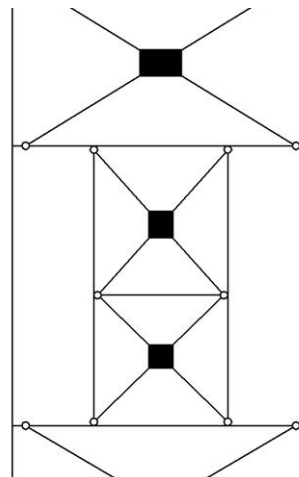
5



6



7



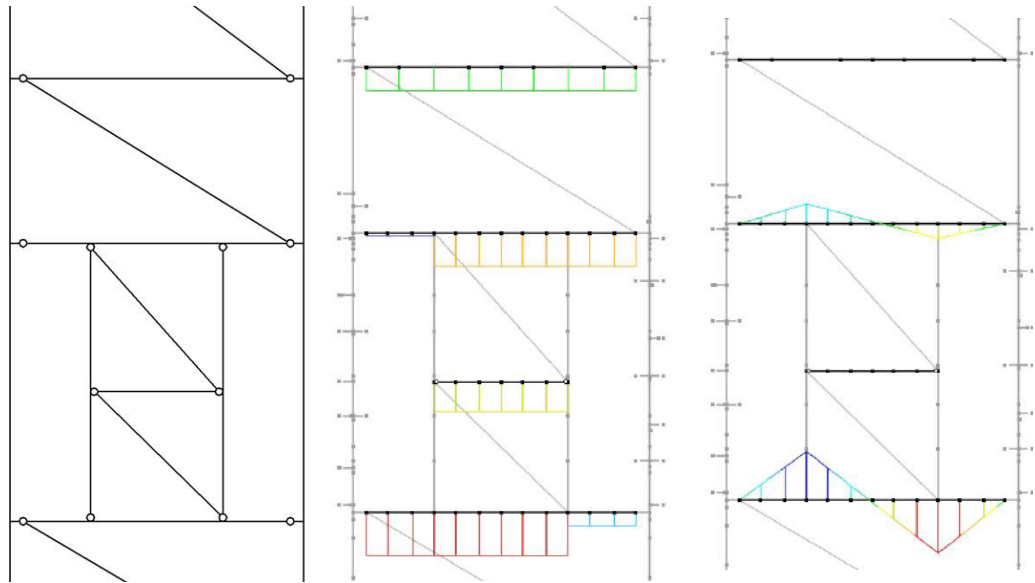
Fachwrk.

Statisches System

N

M

8



9

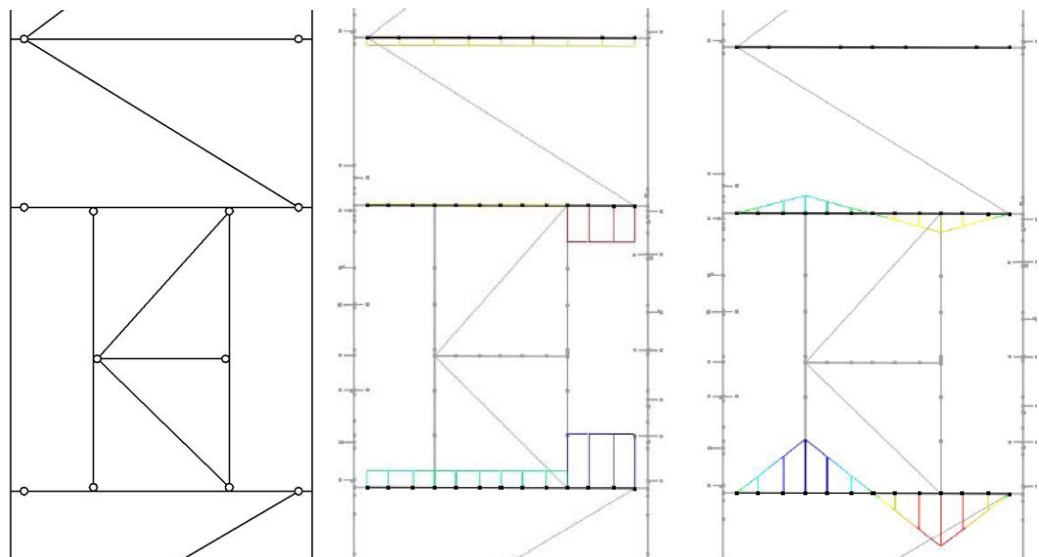


Tabelle 3.2.5-1 – Übersicht der Schnittkräfte in den Riegeln

In den Ausführungsvarianten 3, 4, 6 bis 9 werden die Riegel zusätzlich mit Momenten belastet, welche aus den Abständen der anschließenden Diagonalen (3, 4) oder Pfosten (6-9) resultieren.

Die exzentrischen Rahmenanschlüsse der Diagonalen an die Riegel sind hinsichtlich der Beanspruchung aus seismischen Lasten bzw. stoßartigen Horizontallasten besonders geeignet. Der Abstand zwischen den Diagonalen bildet sich bei Überbeanspruchung bzw. zu großer horizontaler Verformung als plastisches Gelenk aus und nimmt somit Spannungen bis in den Fließbereich des Stahls auf. Die somit aufgenommene Energie sichert andere Bauteile vor Überbelastung. Die statisch stabilen Dreiecke als statisch bestimmte Systeme bleiben erhalten und verhindern ein Versagen der Gesamtstruktur.

Aufgrund des Anschlusses der Diagonalen an den Riegeln in dem Bereich der Anschlüsse zu den Stützen werden Normal- und Querkräfte in den Riegel eingeleitet. Diese setzen sich

jeweils hälftig in die Stütze und in den Riegel ab. Der Teil der Querkräfte, welcher in dem Riegel verbleibt, läuft zur Mitte hin konstant und wird durch die Ausfachungen der darunter angreifenden Diagonalen oder Pfosten abgetragen. Aus diesen Querkraften baut sich in dem Riegel ein Moment auf, dessen Dimension von der Lage der lastabtragenden Diagonalstäbe oder Pfosten abhängt und über den Unterstützungspunkten des Riegels sein Maximum findet.

Aus der hier untersuchten Verschiebung der Lagerpunkte ist zu erkennen, dass die maximalen Momente in den Bereichen der Viertelpunkte der Riegel auftreten. Von den Stützenanschlüssen angefangen, steigen die Momente über dem jeweiligen Stützbereich steil an und erreichen bei ca. $0,2 \text{ bis } 0,22 \cdot l$ ihre Maximalwerte. Ab diesem Punkt verläuft die Momentenfunktion annähernd linear. Es ist somit sinnvoll, die Abstände der exzentrischen Diagonalen oder die Anordnung der Pfosten so weit wie möglich zum mittleren Bereich hin zu verschieben, womit man in den Bereich eines klassischen K-Fachwerkes kommen würde. Je geringer der Abstand der Unterstützungspunkte zueinander, desto geringer ist der Einfluss der Momente aus horizontalen Lasten auf die Bemessung der Riegel.

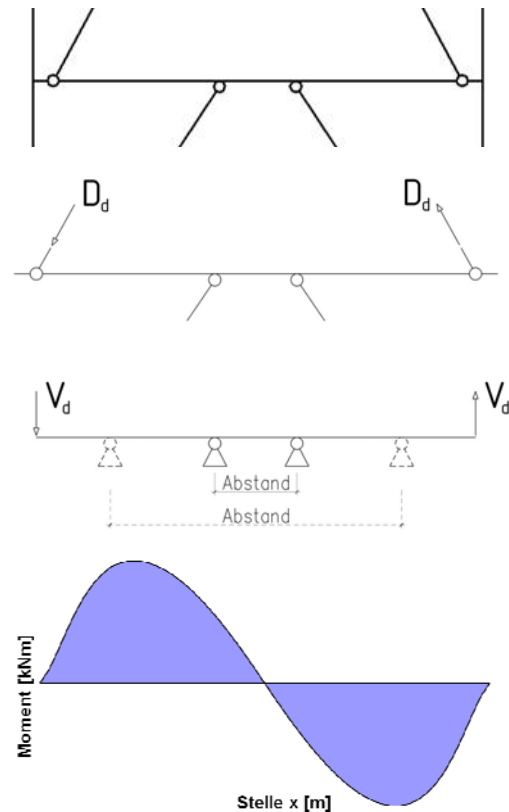
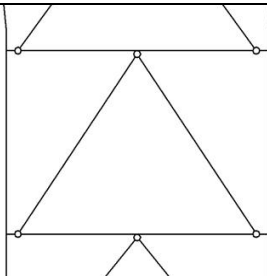
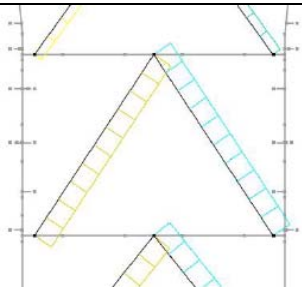
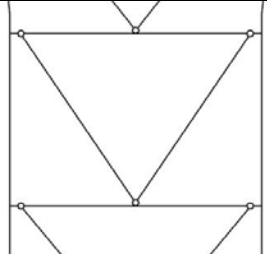
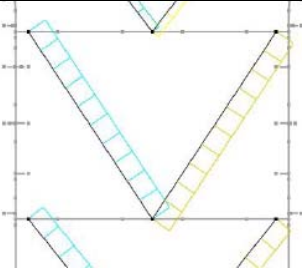
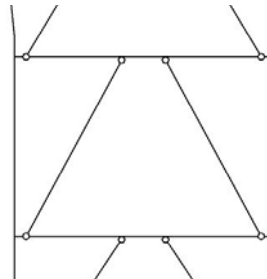
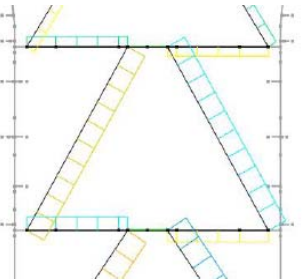
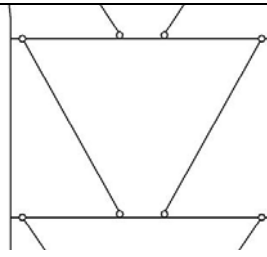
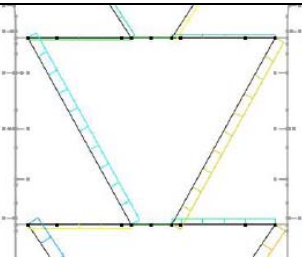


Abbildung 3.2.5-4 – Momenteneinflusslinie im Riegel

Die Riegel der Varianten 1 und 2 erfahren die geringsten Belastungen im Vergleich zu allen anderen Varianten. Wie bei den Stützen, so liegen auch hier die größten Schnittkräfte bei der Variante 6 vor. Die Diagonalen lenken die Normalkräfte aus den Riegeln um und führen sie nach unten in die Stützen bzw. weitere Ausfachungen. Bei den K-Fachwerken bzw. statischen Systemen, welche dieses adaptieren, werden die Horizontalkräfte je Etage in die Riegel eingeleitet und an den Punkten der Diagonalenanschlüsse in diese eingeleitet. Die Normalkräfte in den Stützen summieren sich, infolge der in jeder Riegelebene hinzukommenden Lasten, von oben nach unten auf. Die umgelegten Schnittkräfte aus den Riegeln werden von den beiden Diagonalen gleichmäßig abgetragen. Die Ausfachungen, welche die Riegel nach oben hin halten, sind für die Diagonalen uninteressant.

	Struktur	N
<p>1 Die Aussteifung als klassisches K-Fachwerk trägt die Horizontallasten über Normalkräfte in den Fachwerkstäben ab. Die Lasten aus Wind werden je Ebene in dem geschlossenen statisch bestimmten System aus Diagonalen und Riegeln abgeleitet. Die Schnittgrößen der Diagonalen summieren sich von Oben nach Unten auf.</p>		
<p>2 Die Ausfachung wird in diesem System über ein K-Fachwerk realisiert, welches nach oben hin geöffnet ist. Die horizontalen Lasten werden hier durch den Riegel in die Diagonalen geleitet, welche die Last in den darunterliegenden Riegel abgeben. Die Riegel erhalten Normalkräfte aus den Diagonalen und aus horizontalen Lasten, sie wirken jeweils in Richtung der Stützen.</p>		
<p>3 Die exzentrischen Rahmenanschlüsse der Diagonalen an die Riegel sind hinsichtlich der Beanspruchung aus seismischen Lasten bzw. stoßartigen Horizontallasten besonders geeignet. Der Abstand zwischen den Diagonalen bildet sich bei Überbeanspruchung bzw. zu großer horizontaler Verformung als plastisches Gelenk aus und nimmt somit Spannungen bis in den Fließbereich des Stahls auf. Die somit aufgenommene Energie sichert andere Bauteile vor Überbelastung. Die statisch stabilen Dreiecke als statisch bestimmtes System bleiben erhalten und verhindern ein Versagen der Gesamtstruktur (vgl. /2/ Brandes, Dr-Ing. K.; 1990).</p>		
<p>4 Hier sind die exzentrischen Diagonalen ebenfalls nach oben hin geöffnet. Aus den waagrecht wirkenden Kräften auf die Konstruktion erfahren die Riegel Beanspruchung durch die Momente im Bereich der Diagonalenanschlüsse. Die Normalkräfte aus den Diagonalen werden über die Riegel in Richtung Stütze abgeleitet, wo sie dann von den anschließenden Diagonalen weiter abgeleitet werden. Die Diagonalen in dem Feld von</p>		

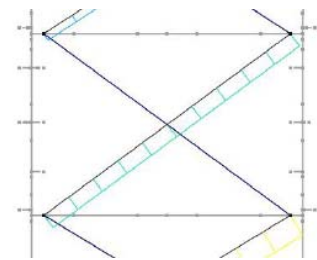
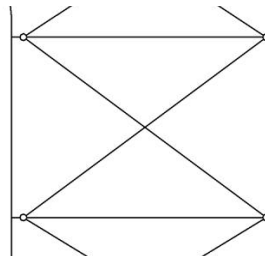
+16,500 m bis +42,750 m erhalten aus dem Zwischenriegel zusätzlich geringe Kräfte.

- 5 Da bei dieser Variante keine Diagonal- oder Fachwerkstäbe vorhanden sind, werden die Horizontallasten über die biegesteif angeschlossenen Riegel in die Stütze eingeleitet. Dies zieht große Schnittkräfte in den Anschlussbereichen nach sich, was sich hinsichtlich Materialverbrauch und Arbeitsaufwand ungünstig auswirkt.

- 6 Die Aussteifung mit Zugstäben ist im Hinblick auf die horizontale Verformung recht günstig. Die horizontalen Lasten werden als Normalkräfte durch die Riegel geleitet und am Knotenpunkt in die Diagonalen umgelenkt.

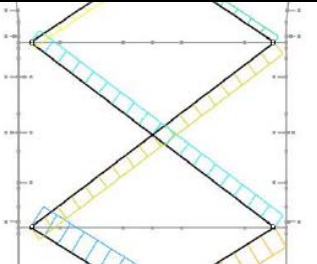
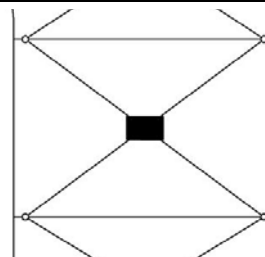
Struktur

N



Hierbei wird immer nur eine Diagonale, in Abhängigkeit des Lastangriffs, aktiviert. Die Schwierigkeit bei dieser Variante ist die konstruktive Gestaltung der Anschlüsse, um sicherzustellen, dass die Diagonalen nur Zugkräfte erhalten.

- 7 Die Aussteifungen mit Kreuzverband, welcher Zug- und Druckkräfte aufnehmen kann, ist im Bezug auf die Gestaltung der Diagonalenanschlüsse wesentlich unkomplizierter als in



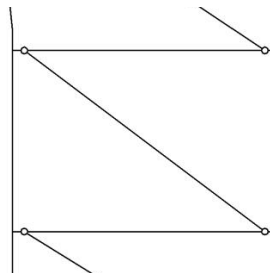
der vorangegangenen Ausführung. Die Verbindung zwischen den Diagonalen wird biegesteif ausgeführt. Dies bedeutet, dass hier zusätzliche Verbindungsmittel bzw. Montagesschweißnähte im Knotenbereich der beiden Diagonalstäbe erforderlich sind.

Der Verlauf der Schnittkräfte in einer Diagonale entspricht dem Verlauf eines Zweifeldträgers in der Bemessungssituation. Bei ausschließlich horizontal wirkenden Lasten treten nur geringe Momenten-Werte auf. Beide Diagonalen je Feld nehmen die horizontalen Lasten als Normalkräfte auf. Jeweils als Zug- und als Druckkraft in Abhängigkeit der Lastangriffsrichtung.

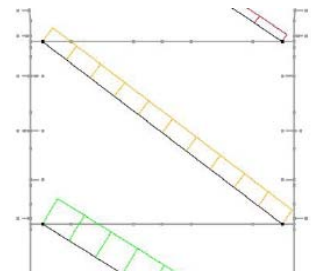
Hinsichtlich der Verformung ist diese Konstruktion sehr steif. Die größte Auslenkung ergibt sich in dem unteren Bereich, was damit zu erklären ist, dass der Verband hier nicht das komplette Feld aussteift, sondern nur den Teil zwischen den Pfosten. Aus dem geringeren Hebel der Aussteifung resultiert die große Verformbarkeit in diesem Bereich.

- 8 Mit nur einer Diagonalen je Feld müssen die gesamten horizontalen Lasten eines Feldes durch diesen Stab aufgenommen werden. Je nach Lastangriff werden somit Zug- oder Druckkräfte aufgenommen.

Struktur

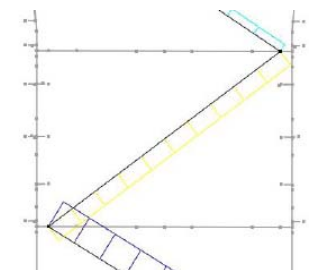
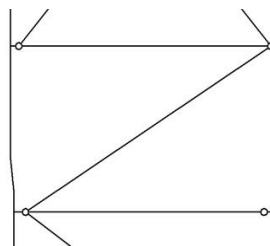


N



Aufgrund der Knicklänge dieser Stäbe wird der Biegeknicknachweis für die Bemessung maßgebend. Hinsichtlich der Verformung ist diese Konstruktion sehr steif, die größte Auslenkung ergibt sich in dem unteren Bereich, was damit zu erklären ist, dass der Verband hier nicht das komplette Feld aussteift, sondern nur den Teil zwischen den Pfosten. Aus dem geringeren Hebel der Aussteifung resultiert die große Verformbarkeit in diesem Bereich.

- 9 Die hier ausfachenden Diagonalstäbe werden jeweils mit einem Stab je Feld wechselnd angeordnet. Aufgrund der großen Knicklänge wird hier ebenfalls der Nachweis gegen Stabilitätsversagen maß-



gebend. Die von den Diagonalen aufzunehmenden Normalkräfte können je nach Richtung der Horizontallast als Zug- oder Druckkraft wirken. Die Riegel werden durch die Anordnung der Diagonalen nur gering von Normalkräften beansprucht, da die Schnittgrößen aus den Diagonalen direkt in die darunterliegende Ausfachung eingeleitet werden. Die vertikalen Komponenten aus der Normalkraft der Diagonalen werden in die Stützen eingeleitet und die horizontalen Komponenten heben sich gegenseitig auf. Hinsichtlich der Verformung ist diese Konstruktion sehr steif. Die größte Auslenkung ergibt sich in dem unteren Bereich, was damit zu erklären ist, dass der Verband hier nicht das komplette Feld aussteift, sondern nur den Teil zwischen den Pfosten. Aus dem geringeren Hebel der Aussteifung resultiert die große Verformbarkeit in diesem Bereich.

Tabelle 3.2.5-2 – Übersicht der Schnittkräfte in den Diagonalen

Bei der Fachwerkausbildungsvariante 5 werden die horizontalen Lasten über die Momente in die Riegel und Stützen abgeleitet. Die Riegel, mit Ausnahme des obersten, sind im mittleren Bereich nur gering auf Querkraft beansprucht. Somit sind die Knotenpunkte von Stütze und Riegel mit den größten Schnittgrößen belastet. Die Momente wechseln von Etage zu Etage und summieren sich je Ebene auf. Die Anschlüsse müssen diese Schnittkräfte übertragen, was einen großen Aufwand an Materialeinsatz und eine größere Anzahl Verbindungsmittel nach sich zieht.

Bei den Aussteifungen der Varianten 1, 2, 3 und 4 ist festzustellen, dass über die zur Stütze der Achse M geneigten Diagonalen die Druckkräfte und über die zur Stütze der Achse H geneigten Diagonalen die Zugkräfte abgetragen werden.

Bei den Ausfachungen mit Kreuzverbänden sind die Normalkräfte klar. Bei dem Zugverband erhält nur der gegen die Kraftrichtung des Riegels orientierte Stab Zugkräfte, wobei in dem drucksteifen Verband die Stäbe jeweils Zug- und Druckkräfte aufnehmen. Der an dem Krafteinleitungspunkt anschließende Diagonalstab erhält direkt Druckkräfte, das Pendant nur Zugkräfte.

Bei den Aussteifungen mit nur einem Diagonalstab je Feld entscheidet die Staborientierung und die Richtung der angreifenden Last die Wirkungsweise.

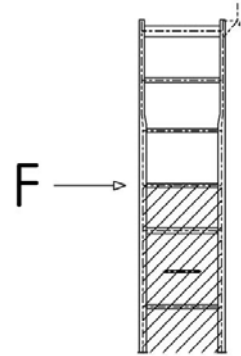
Die Diagonalstäbe der Variante 7 tragen im Vergleich zu allen anderen die geringsten Normalkräfte ab, wobei die maximalen Schnittgrößen in den anderen Varianten keine deutlichen Differenzen aufweisen. So haben die Diagonalen der Variante 9 die größten Normalkräfte abzutragen, sie betragen ca. den doppelten Wert im Vergleich zu denen der Variante 7.

Hinsichtlich der Verformung weisen alle Varianten ähnliche Werte auf. Die Varianten 3, 4, 5 und 6 weisen die größten Verformungen aller Varianten auf. Die größten Verformungen treten bei den meisten Systemen in dem Bereich von +15,800 m bis +41,750 m auf, da hier die Aussteifungen nicht das gesamte Feld ausfachen, sondern nur einen eingeschränkten Bereich zwischen den Pfosten. Die Varianten 1, 2, 3 und 4 weisen eine gleichmäßige Verformung über die gesamte Höhe auf. Bei diesen Varianten ist der Bereich des 2. Schusses mit der steifste Abschnitt im Hinblick auf horizontal angreifende Lasten.

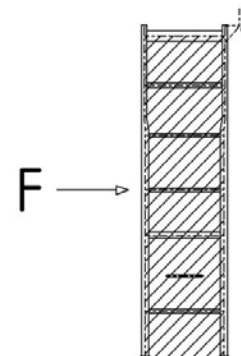
In Anbetracht der Massen und Verformungen der einzelnen Varianten ist festzustellen, dass die Varianten 1, 2 und 3 die günstigsten Systeme darstellen.

Bei den Massen wurden nur die Stützenbereiche des Feldes mit einbezogen. Die Weiterführung der Stützen und Anschlüsse bzw. Masse der Auskragung wurden nicht berücksichtigt. Die Masse des Riegels R19 ging ebenso nicht mit in die Massenermittlung ein. Es wurden somit reinweg die Massen der zur Ableitung beanspruchten Konstruktion ermittelt.

Die angreifenden Horizontallasten werden in den Fachwerkscheiben 1, 2, 5 und 8 rechtwinklig zur Stütze eingeleitet und durch die Riegel und Diagonalen in die darunterliegende Konstruktion transferiert und somit zu den Fußpunkten hin abgetragen. Bei der Ausführungsvariante 9 ist es davon abhängig, wie die Stäbe in dem Bereich des Lastangriffs angeordnet sind. Hier kann der Lastabtrag ebenfalls nur in die darunterliegenden Ebenen erfolgen oder aber auch die darüberliegenden Aussteifungen aktiviert werden.



Im Gegensatz dazu wird bei den Ausführungen der Varianten 6 und 7 bei einer angreifenden horizontalen Last das komplette statische System zur Ableitung dieser Lasten aktiviert. Die größten Schnittgrößen liegen zwar in dem unteren Bereich, doch werden die darüberliegenden Stäbe durch Schnittgrößen, für die sie im Grunde nicht primär vorgesehen sind, in Anspruch genommen.



Bei den Varianten 3 und 4 werden bei horizontalen Lasten nur die Aussteifungen der Felder unterhalb des Lastangriffs und zusätzlich das Feld darüber zur Abtragung der Last beansprucht. Alle darüber liegenden Felder werden nicht belastet.

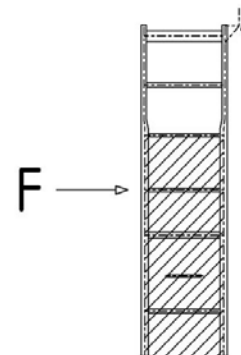


Abbildung 3.2.5-5 – Aktivierte Bereiche durch horizontale Lasten

3.2.6 Herausstellen der zu untersuchenden Varianten

Die in der folgenden Darstellung aufgeführten Varianten zur Untersuchung der spezifischen Eigenschaften werden genauer beleuchtet.

























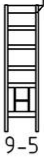


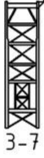

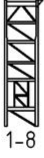
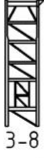


		Möglichkeiten der Ausbildung des Kopfpunktes										
												
Möglichkeiten der Ausfachung	1											
	2											
	3											
	4											
	5											
	6											
	7											
	8											
	9											

Tabelle 3.2.6 – Übersicht der untersuchte Varianten

3.3 Auswertung der untersuchten Varianten

3.3.1 Auswertungsparameter

Die Varianten werden hinsichtlich ihrer Masse, der Verformung, den nutzbaren Räumen und den Flächen für den Korrosionsschutz betrachtet.

3.3.2 Aussagen zur Variantenuntersuchung

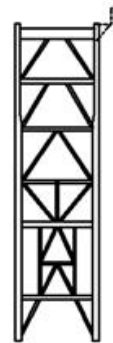
Die Varianten besitzen alle im zweiten Schuss den Riegel R15, welcher zwischen den Diagonalen bzw. Pfosten angeordnet ist. Die Riegel und Diagonalen sind meist gelenkig angeschlossen. In Feldern ohne Ausfachung oder mit Pendelstab werden die Riegel biegesteif an die Stützen angeschlossen. Im Regelfall werden die Stützen im oberen Bereich von dem Querschnitt 2500 x 2500 auf die Abmaße 1800 x 2500 eingezogen. Für die Riegel R16, R18, R20 sind die großen Torsionsmomente vorhanden, die für die Bemessung maßgebend werden können.

Für die Bemessung der Diagonalen ist vornehmlich der Biegeknicknachweis und für die Riegel meist der Spannungsnachweis maßgebend.

Variante MPP-A und MPP-B

Diese Variante beruht auf dem Ausgangsmodell des Kesselgerüsts Maasvlakte. Die Konstruktion beinhaltet viele Elemente, welche in der Variantaufstellung bereits aufgezeigt wurden. So zum Beispiel im oberen Bereich die exzentrisch angeordneten Diagonalen, darunter ein klassisches K-Fachwerk. Um die Stützen zu entlasten und die Kräfte durch den Bereich von +15,900 m bis +42,250 m zu leiten, wurde in dem dritten Schuss ein gedrehter K-Verband mit Pendelstütze eingesetzt. Die Aussteifungen im unteren Bereich sind K-Verbände bzw. exzentrische Diagonalen,

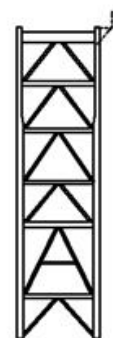
welche an die unteren Knotenpunkte der Pfosten anschließen. Hier wurde zwischen den Modellen differenziert. So wurde diese Fachwerkscheibe mit biegesteifen und mit gelenkigen Riegelanschlüssen in der Fachwerkebene betrachtet.



Variante 1-1

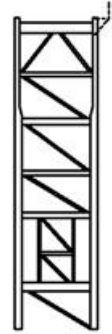
Diese Fachwerkscheibe ist als klassisches K-Fachwerk ausgebildet, wobei im zweiten Schuss der Riegel zwischen den Diagonalen angeordnet ist. Die Riegel werden somit in der Mitte durch die Diagonalen gestützt.

Das statische System der Riegel ist somit der Zweifeldträger. Diese Ausführung weist sehr günstige Massen auf.



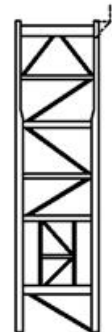
Variante 1-8

Der Kopfpunkt wird hier als K-Fachwerk ausgebildet und die darunterliegenden Felder werden mit nur einer Diagonalen je Schuss ausgesteift. Diese besitzen alle die gleiche Staborientierung. Die Riegel werden im Vergleich zu anderen Varianten stark auf Normalkraft beansprucht. Die Stützweiten der Riegel sowie die Knicklängen der Diagonalen sind die Gründe dafür, dass die benötigten Stahlmassen recht hoch sind. Hinsichtlich der Verformung ist diese Variante mit geringen Auslenkungen eine der Günstigsten im Vergleich zu anderen Varianten. Durch die spitzen Winkel der Diagonalen an den Riegel sind hier große Knotenbleche für den Anschlussbereich zu fertigen, was dem Ansatz - die Knotenpunkte gedungen auszubilden - widerspricht.



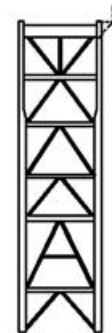
Variante 1-9

Wie in Variante 1-8, so sind auch hier der Kopfpunkte und die Diagonalen angeordnet, jedoch mit wechselnder Staborientierung. Die Riegel sind im Gegensatz zu der vorangegangenen Variante geringeren Normalkräften ausgesetzt. Im Zuge dessen fallen die Schnittkräfte der Diagonalen größer aus. Die Massen und Verformungen sind ähnlich die der Variante 1-8.



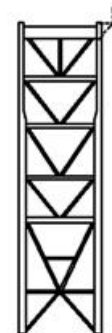
Variante 2-1

Der Riegel R20 wird in dieser Variante praktisch als unterspannter Träger ausgeführt, wobei der Riegel R19 durch das ausfachende K-Fachwerk in dem mittleren Bereich gestützt wird. Aus dieser Situation heraus ist der Riegel R19 faktisch entlastet und dient einzig der Fixierung des Knotens, an dem die Diagonalen anschließen. Diese Kombination weist günstige Werte hinsichtlich der Verformung auf, jedoch im Bezug auf die benötigte Masse liegen andere Konstruktionsformen in günstigeren Bereichen.



Variante 2-2

Diese Variante greift das Prinzip des K-Fachwerks auf und betrachtet dies unter dem Aspekt, dass die Diagonalen vorrangig Zugbelastungen ausgesetzt sind. Im oberen Bereich ist eine Pendelstütze angeordnet, um die Spannweite des oberen Riegels R20 entsprechend den anderen anzupassen. Die Lasten der Riegel werden in dieser Konstruktion auf dem Niveau der darüberliegenden Ebene in die Stützen eingeleitet.



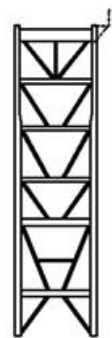
Die Druckdiagonalen im unteren Bereich von +0,000 m bis +15,800 m sind erforderlich, um unvertretbare Stützenabmessungen zu umgehen. Dies verwischt natürlich die Wirkungsweise der Diagonalstäbe im Vergleich zu dem restlichen statischen System. Somit erfahren die Diagonalen im Bereich von +15,800 m bis +42,500 m ebenfalls

Druckspannungen. Würde man das System sauber nach unten durchführen, so würden die Stützenquerschnitte im unteren Bereich und der Querschnitt des Riegels R14 eine deutlich höhere Beanspruchung erfahren, was dazu führt, dass die Querschnitte dementsprechend anwachsen. Somit ist der Mehreinsatz der Druckdiagonalen durch die Vermeidung von größeren Riegeln und Stützenquerschnitten durchaus vertretbar.

Die Riegel sind eher gering belastet, mit Ausnahme des obersten Riegels R20. Die dominierende Zugbelastung der Diagonalen nimmt von oben nach unten immer mehr ab, so dass die unteren von der Druckspannung beherrscht werden. Dem Fakt geschuldet, dass die Lasten nach oben in die Stützen transferiert werden und somit die horizontalen Lasten praktisch eine Ebene höher wirken, ist die Verformung entsprechend größer als bei der Variante 1-1 o.ä. Varianten.

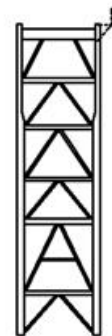
Variante 2-4

Das hier dargestellte statische System mit den exzentrisch angeordneten Diagonalen verfolgt das gleiche Prinzip wie die Variante 2-2 - die reine Zugbelastung der Diagonalen. Doch wie auch in der vorangegangenen Variante, so kommen auch hier im unteren Bereich Druckdiagonalen zum Einsatz, um andere Querschnitte zu entlasten und somit die Querschnittsdimensionen in einem vertretbaren Rahmen zu belassen. Es sind daher auch ähnliche Resultate zu verzeichnen. Wie schon die Differenzen zwischen den Varianten 1-1 und 3-3, so ist auch diese Art der Konstruktion im Vergleich zu der Variante 2-2 von der benötigten Masse an Stahl ungünstiger. Entgegen der Erwartung fällt die Verformbarkeit der Konstruktion geringer aus im Vergleich zu der Verformung der Variante 2-2.



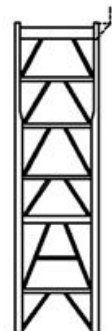
Variante 3-1

Der obere Riegel, auf dem die Kesseldecke lagert, wird in den Drittelpunkten durch die Diagonalen gestützt. Alle weiteren Ausfachungen werden als K-Fachwerk ausgeführt. Im Hinblick auf die benötigte Stahlmasse und die Verformung der Konstruktion stellt diese Variante eine der günstigeren der hier verglichenen Varianten dar.



Variante 3-3

Die hier angewandten exzentrisch angeordneten Diagonalen sind im Hinblick auf große horizontale Beanspruchungen sehr interessant, da durch diese Art der Konstruktion eine hohe Schwingungsdämpfung erreicht wird. Besonders bei seismischen Beanspruchungen ist diese Konstruktion zu bevorzugen (vgl. /2/ Brandes, Dr.-Ing. K.; 1990). Zudem ist die Diagonalenführung mit einem Abstand auch dort sinnvoll, wo bei stark durch Querkraft belasteten Trägern die einzelnen Stützweiten verkürzt werden können oder direkt



Lasteinleitungspunkte unterstützt werden.

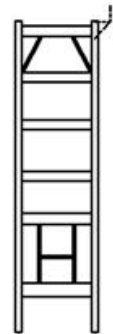
Die Biegemomente des oberen Riegels R20 sind entsprechend der hohen Querkraften in den Feldbereichen maßgebend. Alle anderen Riegel werden so belastet, dass das Stützmoment so dominant ist, dass hier ein Feldmoment nicht zum Tragen kommt.

Im oberen Schuss wurde der Abstand der Unterstützungspunkte bei beiden Varianten mit $\frac{1}{3} \cdot l$ angesetzt, um zwei Kesseldeckenträger direkt zu unterstützen, alle weiteren Diagonalen werden mit dem Abstand $\frac{1}{6} \cdot l$ an die Riegel angeschlossen.

Variante 3-5

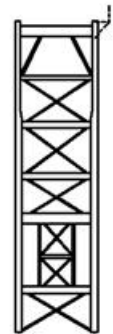
Bei der Variante wird die günstige Ausbildungsform des Kopfpunktes mit der Diagonalenunterstützung in den Drittelpunkten mit der Rahmenausbildung zur Aussteifung des unteren Konstruktionsabschnittes betrachtet.

Die erhoffte hohe Durchlässigkeit der Konstruktion wird hier jedoch nicht erreicht. Sogar das Gegenteil ist der Fall. Die nutzbaren Räume sind hier so gering wie bei keiner anderen Ausführungsvariante. Im Vergleich zu der Variante 9-5 ist die Dimension des Riegels R20 deutlich reduziert. Aufgrund der enormen Schnittgrößen in den Anschlussbereichen der Riegel an die Stützen ist die Gesamtmasse nicht wesentlich günstiger als bei anderen Varianten.



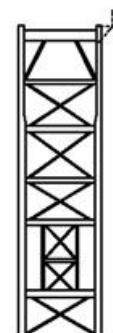
Variante 3-6

Die Kopfform 3 wird hier in Verbindung mit der Ausfachung 6 betrachtet. Die Ausfachungen mit Zugstäben als Diagonalen bringen hinsichtlich der Verformung nicht die erhofften Resultate. Die Verformbarkeit bei horizontalen Lasten ist doch recht groß im Vergleich zu anderen Ausführungen. Zudem sind die nutzbaren Räume für die Anlagentechnik sehr eingeschränkt und die benötigte Stahlmasse lässt ebenfalls keine vertretbare Anwendung in Betracht ziehen.



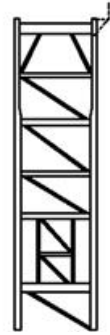
Variante 3-7

Wie in der vorangegangenen Variante, so wird auch hier die Kopfform 3 mit einem diagonal ausgekreuzten Fachwerk kombiniert. Mit dem Unterschied, dass bei dieser Version die Diagonalstäbe Druck- und Zuglasten aufnehmen können und zudem in den Schnittpunkten biegesteif miteinander gekoppelt sind. Betrachtet man die Stahlmassen, so ist bei dieser Variante kein Vorteil gegenüber anderen Ausführungen zu erkennen. Ebenso sind die Räume für den Anlagenbauer sehr eingeschränkt. Nur die Konstruktion ist hinsichtlich der Verformung ist die Konstruktion sehr starr.



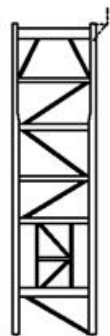
Variante 3-8

Der Kopfpunkt wird hier mit exzentrisch angeordneten Diagonalen, welche den Riegel R20 in den Drittelpunkten unterstützten, ausgeführt. Die darunterliegenden Felder werden mit nur einer Diagonalen je Schuss ausgesteift. Diese besitzen alle die gleiche Staborientierung. Die Riegel werden im Vergleich zu anderen stark auf Normalkraft beansprucht. Die Stützweiten der Riegel sowie die Knicklängen der Diagonalen sind die Gründe dafür, dass die benötigten Stahlmassen recht hoch sind. Hinsichtlich der Verformung liegt diese Variante mit geringen horizontalen Auslenkungen in einem vertretbaren Bereich.



Variante 3-9

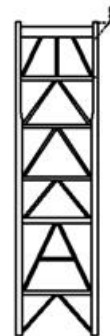
Diese Variante entspricht im wesentlichen der vorangegangenen, nur dass hier die Diagonalen zur Aussteifung in jedem Schuss eine wechselnde Staborientierung aufweisen. Die Riegel sind im Gegensatz zu der vorangegangenen Variante geringeren Normalkräften ausgesetzt. Im Zuge dessen fallen die Schnittkräfte der Diagonalen größer aus. Die Massen und Verformungen sind ähnlich die der Variante 3-8.



Variante 4-1

In der Ausbildung des Kopfpunktes wird der Riegel R20 in 3 Punkten unterstützt. Auf diese Weise werden die Hauptlasten aus den Kesseldeckenträgern direkt in die Stützen bzw. die ausfachende Konstruktion abgeleitet. Die Beanspruchung des Riegels ist somit eher gering - im Vergleich zu anderen Varianten. Die Ausfachung ist als K-Fachwerk ausgeführt, was günstige Riegelquerschnitte nach sich zieht.

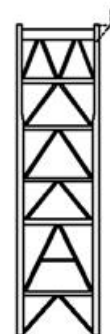
Aus diesem Grund stellt diese Ausführung die günstigste Masse aller hier aufgeführten Varianten dar. Hinsichtlich der Verformung bieten andere Konstruktionsformen günstigere Werte.



Variante 5-1

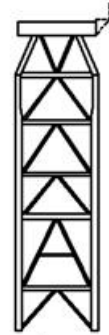
Die Fachwerkscheibe ist durch ein K-Fachwerk und im oberen Schuss mit zwei diagonalen Paaren, welche den oberen Riegel in den Drittelpunkten unterstützen, ausgesteift.

Hier bleibt festzustellen, dass mit geringeren Diagonalenabmessungen im oberen Schuss die Abmessungen des darüberliegenden Riegels anwachsen.



Variante 6-1

Hier sind die Stützen im oberen Bereich eingezogen, womit sie neben dem Abtragen der Vertikallasten aus Dampferzeuger und Kesseldecke auch noch horizontale Lasten ableiten. Die Anforderungen an die Genauigkeit der Konstruktion und Fertigung dieser Stützen sind sehr hoch. Die eingezogenen Stützen besitzen auf der Ebene +93,750 m einen Querschnitt von 1800 x 2500, welcher sich dann hin zum oberen Riegel auf die Abmaße von 1800 x 800 verjüngt. Diese Form der Ausbildung dieses Stützenbereiches ist



dahingehend vertretbar, dass hier die Schnittkräfte von der Riegelbreite von 800 mm auf eine Stützenbreite von 2500 mm übertragen werden müssen. Das stellt eine Möglichkeit dar, dies zu bewerkstelligen. Ein weiterer kritischer Punkt ist der Anschlussbereich des Riegels R19 an die Stütze. Die eingeschränkten Platzverhältnisse zur Gestaltung des Anschlusses sowie die Montage der Riegel werden in diesem anspruchsvollen Lösungen fordern. Die Aussteifung der Gesamtkonstruktion rechtwinklig zur Fachwerkebene stellt zudem weitere Herausforderungen an die Konstruktion dar. Der Verband rechtwinklig zur Fachwerkebene kann den Stützen im oberen Bereich nicht folgen, da hier der Raum durch den Dampferzeuger in Anspruch genommen wird. Somit muss der Verband auf dem Niveau von +91,250 m enden oder aber er wird gerade weiter nach oben durchgeführt und schließt an den oberen Riegeln an, was für diese eine hohe Beanspruchung um die schwache Achse bedeuten würde. Die Verbindung der oberen Riegel müsste zudem so ausgeführt werden, dass die Momente um die z-Achse übertragen werden.

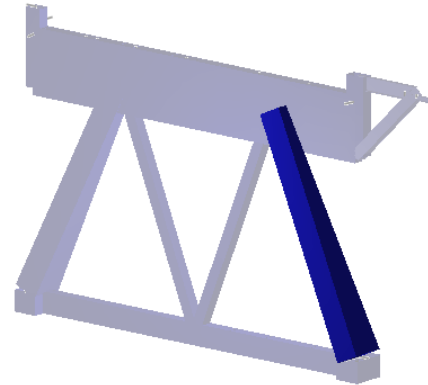


Abbildung 3.3.2-1 Lage der Stütze (Graphik RSTAB)

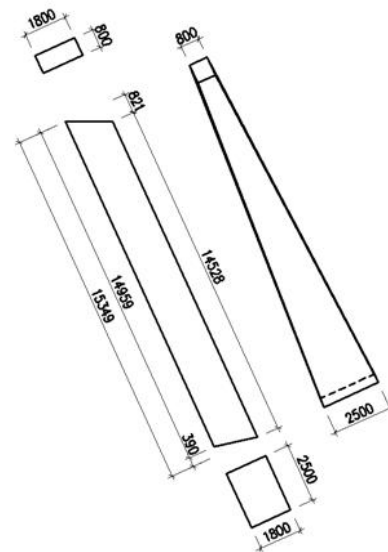


Abbildung 3.3.2-2 Stützenabmessungen

Der obere Riegel R20 muss die Lasten durch die Auskragung zur Abhängung des Rauchgaskanals aufnehmen. Das bedeutet, dass über den biegesteif angeschlossenen Konsolträger ein entsprechendes Moment mit dazugehöriger Querkraft in das Riegelprofil eingeleitet wird. Das statische System des Riegels ist ein Zweifeldträger mit auskragenden Enden auf beiden Seiten. Die Momente über den Auflagern sind hier die maßgebenden Schnittgrößen.

Diese Art der Konstruktion ist im Bezug von der eingesetzten Masse zu der resultierenden Verformung des Systems die günstigste Variante, welche in den Parametern von dem Kesselgerüst Maasvlakte möglich ist. Die eingezogenen Stützen sparen in dieser

Variante im Vergleich zu Variante 3-1 zwei Diagonalstäbe und bringen aufgrund ihrer großen Querschnitte enorme Steifigkeit im oberen Bereich der Konstruktion.

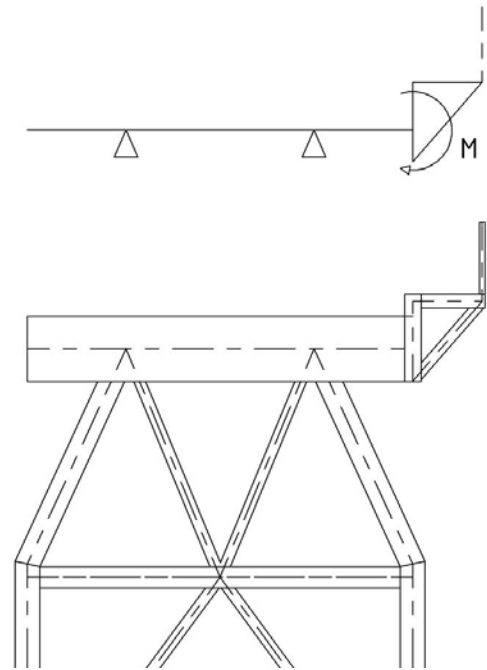


Abbildung 3.3.2-3 - Kopfpunkt mit statischem Modell

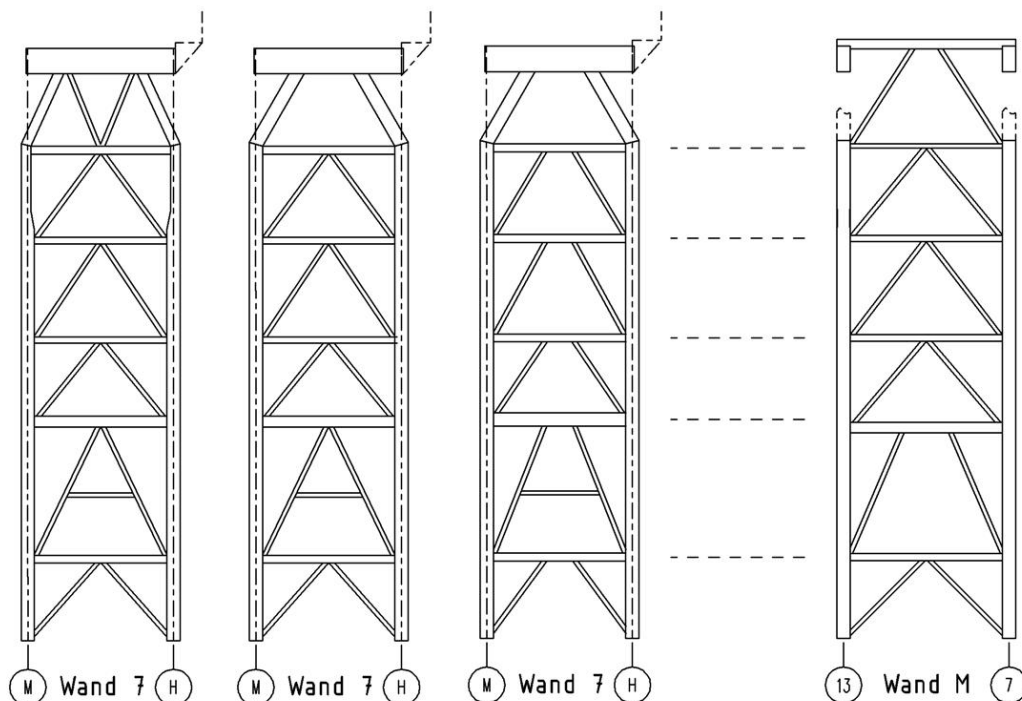


Abbildung 3.3.2-4 – Führung des Wandverbandes in der Wand M

Variante 7-1

Wie auch die Varianten der Zeile 4, so sind auch hier die Stützen im oberen Bereich eingezogen, jedoch sind abweichend dazu keine weiteren Diagonalen vorgesehen. Die Stützen sind in diesem Bereich für die Abtragung der vertikalen Lasten sowie für die Aussteifung gegenüber den Horizontallasten verantwortlich. Die Lagerpunkte des Riegels R20 besitzen einen Abstand von $0,5 \cdot l$. Die Lasten aus dem Dampferzeuger und der Kesseldecke werden direkt in die Stützen eingeleitet.

Die Aussteifungen in allen anderen Etagen des Kesselgerüsts werden durch K-Fachwerkkonstruktionen erreicht. Die Riegel und Diagonalen sind alle gelenkig angeschlossen. Der obere Riegel ist ebenfalls gelenkig an die Stützenköpfe angeschlossen. Der Übergang der Stütze zu der Diagonalenstütze erfährt die größte Beanspruchung, da hier die Momente umgelegt werden und somit eine Art Rahmenecke entsteht.

Abbildung 3.3.2-5 – Kopfpunkt 7-1

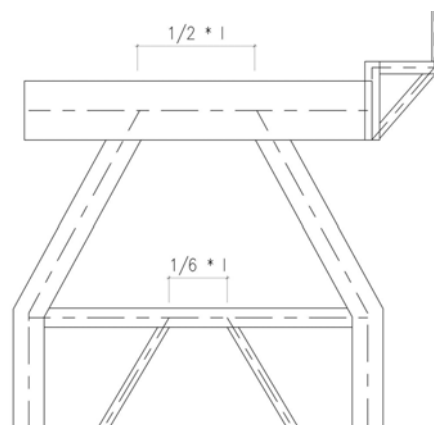
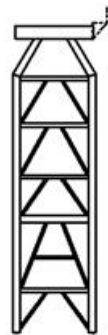
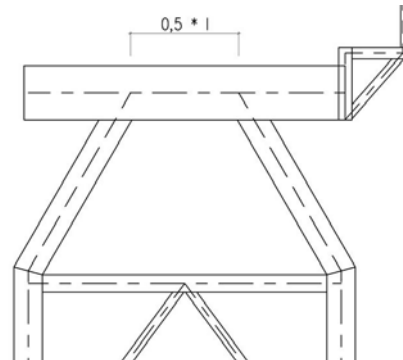
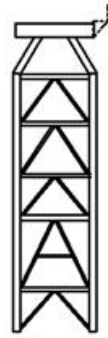
Durch die eingeschränkte Geometrie der Querschnitte in diesem Bereich werden die Materialstärken dementsprechend massiv ausfallen, um die Schnittgrößen übertragen zu können. Der Stützenquerschnitt ist aufgrund der hohen Kräfte über die gesamte Höhe mit den konstanten Außenabmessungen 2500×2500 beibehalten.

Variante 7-3

In Anlehnung an die Variante 5-1 erfolgte bei dieser Variante die Ausbildung des oberen Schusses. Die Ausfachung der restlichen Konstruktion erfolgt als exzentrisch angeordnete Diagonalen. Die Vorzüge dieser Konstruktion hinsichtlich der Ausbildung von plastischen Gelenken und der Schwingungsdämpfung bei großen Horizontallasten sind unter der Variante 2-2 ersichtlich. Der Abstand der Unterstützungspunkte der Riegel durch die Diagonalen wurde nach den Erkenntnissen der Variantenuntersuchung 2-2 mit $1/6 \cdot l$ angeordnet. Die Stützen sind aufgrund der hohen Kräfte über die gesamte Höhe mit den konstanten Außenabmessungen 2500×2500 bemessen.

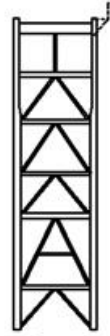
Die unter Variante 3-3 beschriebenen Eigenschaften hinsichtlich der seismischen und großen horizontalen Belastungen erfordern eine große Verformbarkeit der Konstruktion. Diese ist jedoch in der Betrachtung der Gebrauchstauglichkeit unvorteilhaft.

Abbildung 3.3.2-6 – Kopfpunkt 7-3



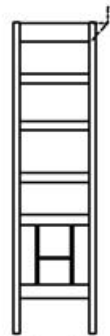
Variante 8-1

Diese Kombination der Kopfform 8 und der Ausfachungsvariante 1 bildet sich wie folgt ab. Der Riegel R20 wird als Rahmenriegel in der Mitte durch einen Pendelstab bzw. Pfosten unterstützt, wodurch das Feldmoment des Riegels dementsprechend reduziert wird. Somit werden Teile der Lasten aus der Kesseldecke erst auf dem Niveau von +70,500 m eingeleitet. Die Stützen werden erst einen Schuss tiefer mit diesen Lasten beansprucht. Der über den Lasteinleitungspunkt liegende Stützenabschnitt kommt aus diesem Grund mit geringeren Wandstärken des Stützenquerschnittes aus. Die Verformung liegt in einem Bereich, der im Vergleich zu anderen vertretbar ist. Im Vergleich aller Varianten weist diese Ausführung die größte Durchlässigkeit der Fachwerkwand auf.



Variante 9-5

Diese Variante ist als reines Rahmenfachwerk ausgeführt. Die erforderlichen Riegelquerschnitte gleichen von den Abmessungen denen, die zur Aufnahme der Kesseldecke benötigt werden. Das Feldmoment ist bei dem oberen Riegel R20 die maßgebende Schnittgröße, für alle anderen Riegel sind die Momente in den Anschlussbereichen zu den Stützen hin maßgebend. Der Stützenquerschnitt verläuft auch hier konstant über die gesamte Höhe mit den Außenmaßen 2500 x 2500.



Da hier keine Diagonalen an die Riegel angeschlossen werden müssen, besteht hinsichtlich der Breite der Riegel nicht mehr der Zwang, die 800 mm Riegelbreite einzuhalten. Jedoch ist festzuhalten, dass die Vergrößerung der Breite, zugunsten einer geringeren Riegelhöhe und damit eine höhere Durchlässigkeit der Konstruktion, keine geringeren Stahlmassen oder günstigere Eigenschaften hinsichtlich der Verformung bewirkt. Das hier untersuchte Modell wurde aus diesem Grund mit den Riegelbreiten von 800 mm betrachtet, um sich zu anderen Varianten auf die gleiche Basis beziehen zu können.

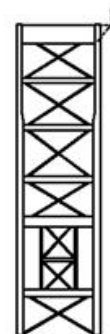
Der erhoffte Vorteil kommt im Vergleich mit anderen Variante nicht zum Tragen, eher im Gegenteil. Durch die hohen Riegelprofile wird der verfügbare Raum für Anlagentechnik deutlich eingeschränkt. Betrachtet man in diesem Zusammenhang die benötigte Masse an Stahl, dann ist diese Variante weit entfernt von einem statischen System, was wirtschaftlichen Anforderungen standhält.

Variante 10-6

Diese Variante ist komplett mit druckschlaffen Verbänden ausgekreuzt. Die Diagonalen sind somit reine Zugstäbe.

Aufgrund der reinen Zugbelastung wurde es möglich, die Querschnitte auf die Außenabmaße von 400 x 400 zu reduzieren.

Die Diagonalenbreite von 400 mm wurde gewählt, da die beiden Diagonalen hintereinander liegen und somit das Bezugsmaß der Riegelbreiten von 800 mm ergeben. Die Schwierigkeit bei dieser Variante ist, dass hier konstruktiv



sicherstellt wird, dass die Stäbe nur Zugkräfte erhalten.

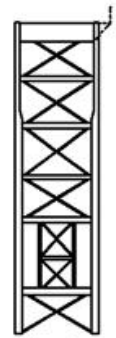
Der obere Riegel R20 erfordert aufgrund der hohen Lasten in Verbindung mit der großen Spannweite eine dementsprechende Profilhöhe.

Die Feldmomente sind hier natürlich die bestimmenden Schnittgrößen bei der Bemessung der Riegel, wobei die Spannungsnachweise maßgebend sind.

Durch die durchgängige Auskreuzung der Konstruktion mit Zugstäben ist die Konstruktion hinsichtlich der Verformung entgegen der Erwartung doch verhältnismäßig verformungsfreudig. Die Stahlmassen sind bezüglich der großen Spannweiten der Riegel höher als bei Varianten, welche die Riegelspannweiten durch Zwischenaufleger verkürzen.

Variante 11-7

Im Gegensatz zu der vorangegangenen Variante ist diese Fachwerkscheibe mit Diagonalen ausgekreuzt, welche Druck- und Zugkräfte übertragen können. Zudem sind sie in den Schnittpunkten biegesteif miteinander verbunden. Die Breite der Riegel beträgt 800 mm, die Höhe variiert von 400 bis 600 mm, je nach Verbandsfeld. Wie auch in Variante 8-7, so sind auch hier die Riegeldimensionen entsprechend der vorhandenen Spannweite größer als bei anderen Varianten mit geringeren Spannweiten. Diese Art der Konstruktion ist



sehr steif. Im Vergleich zu anderen Varianten dieser Untersuchung gehört diese Variante mit zu den Günstigsten hinsichtlich der Verformung. Die bereits erwähnten großen Riegelquerschnitte lassen die Stahlmasse ansteigen.

3.3.3 Steifigkeitsuntersuchung der Ausfachungen

Unter diesem Punkt wird die Abhängigkeit der Schnittgrößen und somit der Dimension des Riegels mit der Dimensionierung der Ausfachungen, welche den Riegel R20 unterstützen, betrachtet. Die unter dem Punkt 3.2.4 erwähnte Steifigkeit der ausfachenden Konstruktion und deren Auswirkungen auf den Schnittgrößenverlauf des Riegels R20 wird hier anhand der unter Abs. 3.3.4 untersuchten Varianten 4-1 und 8-1 dargestellt.

Hierfür wurden die Konstruktionen in den verschiedenen Situationen der Steifigkeit der ausfachenden Stäbe betrachtet. Die maximale Auslastung des Riegels wird in allen Fällen im Bereich von 100 % angestrebt. Die jeweils dazugehörigen Ausfachungen werden in den Ausnutzungen der jeweils maßgebenden Nachweise bei den Stationen von 100, 90, 80, 70, 60 und < 50 % betrachtet. Hierbei werden explizit die Massen der Baugruppen aufgenommen und in Abhängigkeit miteinander ausgewertet.

Die Materialstärken wurden hier, abweichend zu der Variantenuntersuchung und den unter Punkt 3.1 getroffenen Festlegungen, bis $t = 80$ mm betrachtet. Wurden entsprechend größere Querschnitte erforderlich, so erfolgte eine Anpassung der Profilhöhen. Die Riegel und Diagonalbreiten blieben mit 800 mm konstant.

Bei der Variante 4-1 wird der Einfluss der Steifigkeit der Verformung nicht so deutlich wie bei der folgenden Ausführung 8-1. Dies ist damit zu erklären, dass die Diagonalen D21 nicht den großen Verformungen unterliegen wie die Diagonale bzw. Pfosten D22. Dieser leitet nicht nur die Lasten aus dem Riegel R20 weiter, sondern gibt auch die Verformungen an den Riegel R19 weiter. Die Diagonalstäbe D20 müssen dieser Beanspruchung stand halten und gegebenenfalls so massiv ausgebildet werden, dass die Verformung und die Schnittkräfte im Riegel R20 beeinflusst werden. Betrachtet man nun die Massen der ausfachenden Konstruktion, so ist festzustellen, dass sie mit geringer werdenden Ausnutzung im

maßgebenden Nachweis stetig höhere Massen erzielen. Hingegen bleibt das Niveau der Masse des Riegels R20 nahezu konstant. Die Gesamtmasse wächst somit an.

In der Ausführung der Variante 8-1 ist die Abhängigkeit von Riegel und Diagonalen im Vergleich zur vorausgegangenen Untersuchungsgrundlage deutlich klarer. Hier wird die Verformung komplett von dem Diagonalstab bzw. Pfosten D22 an den darunterliegenden Riegel R19 und der weiterführenden Ausfachung weitergeleitet. Somit tragen die Diagonalen D20 einen Teil der Lasten aus der Kesseldecke in die Stützen ein. Bildet man diese nun steifer aus, um die Schnittkräfte des Riegels dahingehend zu beeinflussen, dass günstigere Werte und somit geringere Wandstärken möglich werden, so ist festzuhalten, dass die Masse des Riegels reduziert wird, jedoch die Masse der

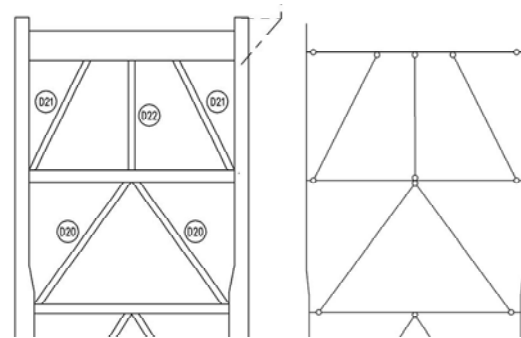


Abbildung 3.3.3-1 – Struktur und statisches System

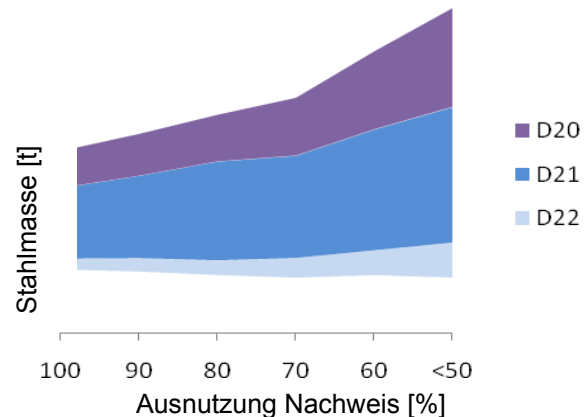


Abbildung 3.3.3-2 – Diagramm Masse-Ausnutzung

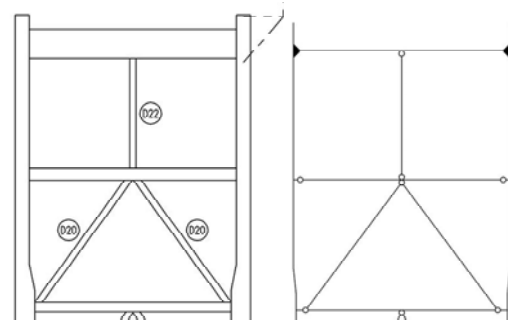


Abbildung 3.3.3-3 – Struktur und statisches System

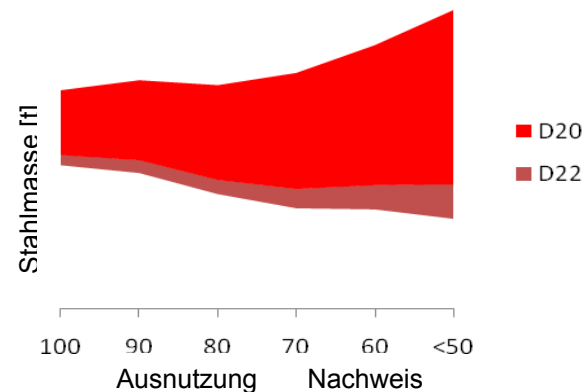


Abbildung 3.3.3-4 – Diagramm Masse- Ausnutzung

Aussteifungen diese Ersparnis sofort wieder aufbraucht. So bewegt sich das Niveau der Gesamtmasse in dem Bereich von 100 % bis 70 % annähernd auf einem gleichbleibenden Wert. Darüber hinaus ist eine Reduzierung der Riegelmasse kaum noch möglich. Somit steigen die Massen der Ausfachungen weiter und die Gesamtmasse wächst stark an.

Letztendlich bleibt festzuhalten, dass eine Ertüchtigung der ausfachenden Stäbe die Schnittkräfte zwar beeinflusst, sogar deutlich hin zu günstigeren Werten, jedoch ebenso, dass die Masse, welche für die zusätzliche Steifigkeit der Ausfachung benötigt wird, diesen Effekt aufwiegt und praktisch in der Summe noch größere Massen hervorruft. Die Stäbe sollten somit weiterhin, sinnvoll ihrer Beanspruchung nach, entsprechend bemessen werden.

3.3.4 Aufstellung der Vergleichswerte

	Variante	Stahl [t]	Verformung [h/x]
Die Darstellung der einzelnen Varianten im Bezug auf die Masse und die ermittelte Verformung macht ersichtlich, dass die Varianten 4-1, 1-1, 3-1, MPP-A und MPP-B die günstigsten Verhältnisse aufweisen. Aus der Betrachtung der Verformung kann man den Aufwand für zusätzliche bzw. größer dimensionierte Aussteifungen ableiten, um die geforderten zulässigen horizontalen Auslenkung von beispielsweise $l/500$ standzuhalten. Die großen vertikalen Lasten aus dem Dampferzeuger mit der dazugehörigen Kesseldecke rechtfertigen diese Forderung, um letztendlich den Einfluss der Schiefstellung so gering wie möglich zu gestalten. Da die Berechnungen rein nach Theorie I. Ordnung geführt wurden, ist das eine wesentliche Grundlage für die Bemessung der Konstruktion.	MPP-A	947	392
	MPP-B	981	380
	1-1	881	395
	1-8	1191	392
	1-9	1205	411
	2-1	1010	417
	2-2	1063	284
	2-4	1166	319
	3-1	868	372
	3-3	958	345
	3-5	1619	252
	3-6	1223	304
	3-7	1184	412
	3-8	1228	392
	3-9	1190	393
	4-1	857	364
	5-1	929	404
	6-1	888	430
	7-1	980	363
	7-3	1017	286
	8-1	1043	370
	9-5	1674	247
	10-6	1275	287
	11-7	1260	420

Tabelle 3.3.4 – Vergleichswerte

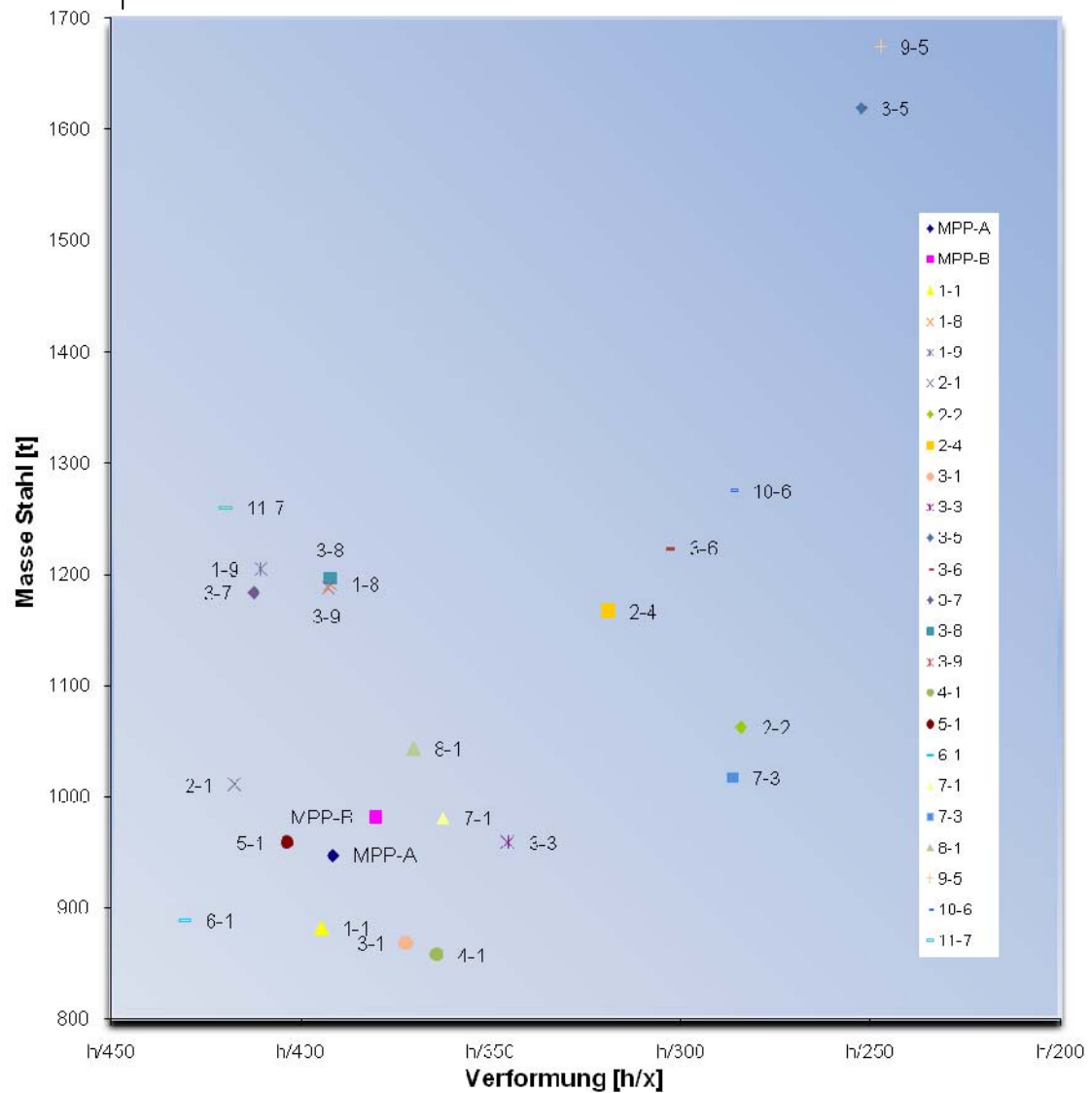


Abbildung 3.3.4-1 – Diagramm Masse-Verformung

Der Vergleich der nutzbaren Räume des Fachwerks für Anlagentechnik stellt sich wie folgt dar. Die hier ausgewerteten Flächen sind die für den Anlagenbauer wichtigen Zugänge zu dem Dampferzeuger. So wird der Bereich 1 von den Luftkanälen für den Transport der Heißluft beansprucht. Die oberen beiden Bereiche 2 und 3 sind durch die Anordnung der Russbläser ausgefüllt. Die verschiedenen Anschlüsse wurden nicht betrachtet, d.h. die einzelnen Flächenanteile aus Knotenblechen o.ä. bleiben unberücksichtigt

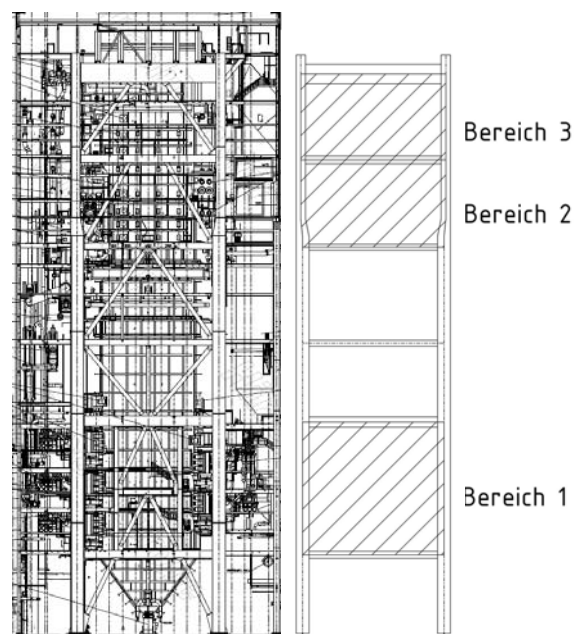


Abbildung 3.3.4-2 – Bereiche der Anlagentechnik

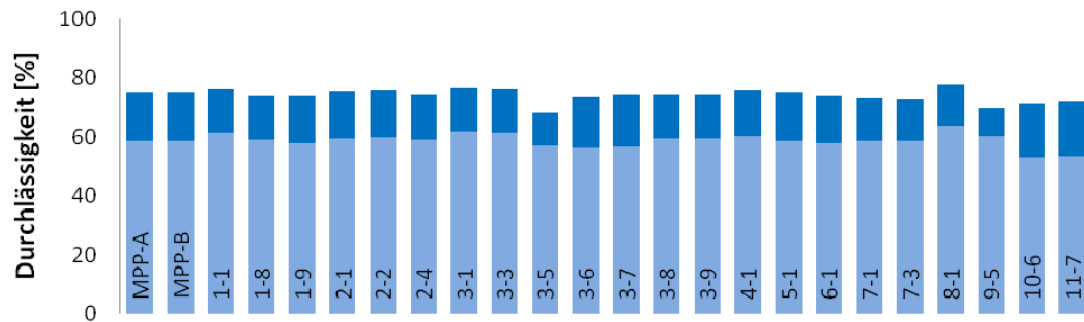


Abbildung 3.3.4-3 – Diagramm Durchlässigkeit der einzelnen Varianten in den Bereichen 1 bis 3

Das Diagramm stellt die prozentualen nutzbaren Räume der einzelnen Varianten dar. Die gesamte Balkenhöhe stellt die freien und nutzbaren Räume zur Durchführung für Anlagentechnik und Rohrleitungen dar. Hierbei bildet der untere Balkenabschnitt die nutzbaren Räume mit einem Abstand von 500 mm zur Stahlkonstruktion. Wie in der Darstellung ersichtlich wird, bewegen sich die nutzbaren Räume der verschiedenen Varianten annähernd auf einem Niveau. Die größten Räume bieten die Varianten 3-1, 3-3 und 8-1. Die Varianten 3-5, 9-5, 10-6 und 11-7 stellen die Ausführungen mit den geringsten nutzbaren Räumen. Die größten Differenzen zwischen dem Verhältnis von der Betrachtung der Konstruktion der Räume von Außenkante Stahlbau und der Abstand von 500 mm zum Stahlbau sind bei den Varianten 10-6 und 11-7 erkennbar. Die geringsten Abweichungen sind bei der Variante 9-5 zu verzeichnen.

Betrachtet man die Flächen für den Korrosionsschutz, so bieten die Varianten 6-1 bis 8-1 die geringsten Flächen. Die größten Flächen liegen bei den Varianten 3-7, 10-6 und 11-7.

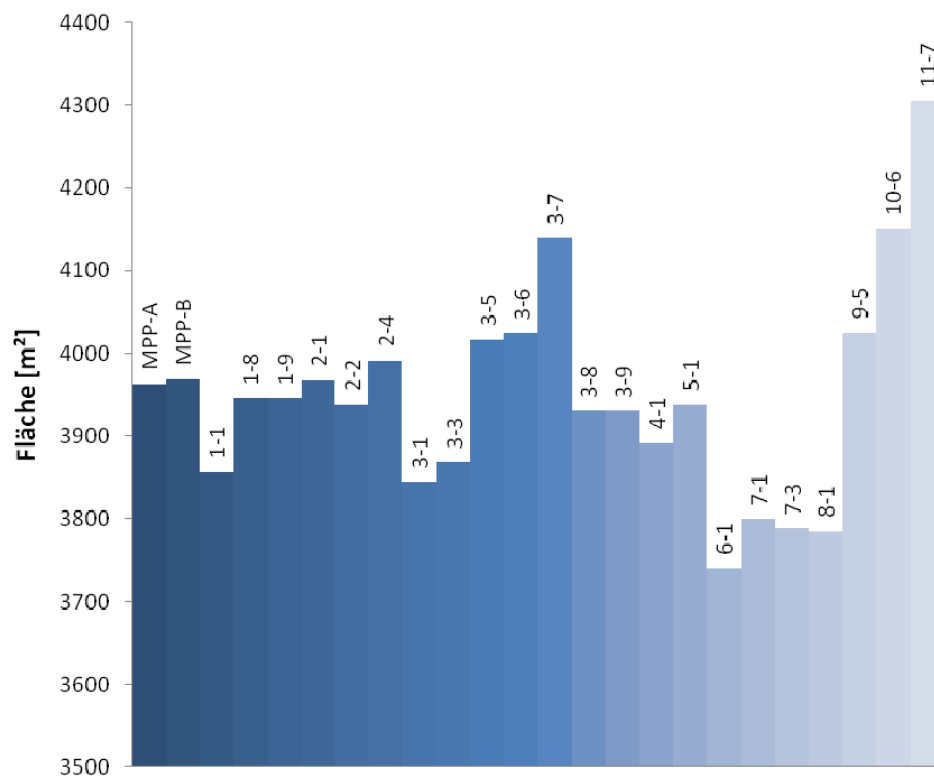


Abbildung 3.3.4-4 – Diagramm Flächen für den Korrosionsschutz

3.4 Betrachtung Querschnitte

Die Struktur des Kesselgerüsts ist gekennzeichnet von großen Normalkräften in den Stützen. Die anschließenden Riegel mit den dazugehörigen Schnittgrößen bringen zudem noch Momente und Querkkräfte um beide Achsen in die Stütze ein. Das hat zur Folge, dass in den Anschlussbereichen die Ausnutzung der Stützenquerschnitte am größten ist. Die Wahl der Querschnitte für die Stützen wird maßgeblich durch die Art der Anschlusausbildung der Riegel an die Stütze bestimmt. So bieten I- oder gekreuzte I-Querschnitte den Vorteil, dass die Lasten direkt in die Schwereachse abgeleitet werden und keine zusätzlichen Schnittkräfte aus Exzentrizitäten der Anschlusspunkte zu der Schwereachse der Profile resultieren. Die benötigten Steifen zur Krafteinleitung können, je nach Dimension der Stütze, von außen ohne größeren Aufwand angeordnet und gefügt werden. Zudem ist die Zugänglichkeit für den Anschluss zum Einbringen der Verbindungsmittel günstig. Durch das Zusammensetzen von Walzprofilen können - wo es die Belastungen zulassen - Profile mit ähnlichen Querschnittswerten um beide Hauptachsen erzeugt werden. Bei höheren Belastungen, wie sie im Kraftwerksbau vorhanden sind, ist durch die zwangsläufige Verwendung von Schweißprofilen eine doppelsymmetrische Gestaltung der Querschnitte problemlos möglich. Bei der Gestaltung der Querschnitte ist darauf zu achten, dass die Zugänglichkeit im Fertigungsprozess und bei der Montage gewährleistet bleibt. Um Deformationen zu vermeiden, ist in der Fertigung ein zusätzlicher Aufwand zu verzeichnen, angefangen bei temporärer Lagesicherung der Bleche im Fertigungsprozess bis hin zur Wärmeführung beim Fügen der Profile.

Die Ausführung als geschlossene Querschnitte bringt zwangsläufig zusätzliche Schnittkräfte in die Stützen, da der Abstand Anschlusspunkt zur Schwereachse immer vorhanden ist. Für das Einleiten der Kräfte ist zudem ein erheblicher Aufwand an Schottblechen und Steifen erforderlich. Die Ausbildung kann als quadratischer oder rechteckiger Kastenquerschnitt sowie als Rohrquerschnitt erfolgen. Wobei Rohrquerschnitte nur für die Stäbe der Diagonalen in Betracht gezogen werden sollten. Da Rohrquerschnitte identische Querschnittswerte um beide Hauptachsen aufweisen, sind sie daher im Hinblick auf Druckbelastung durchaus sinnvoll. Die Anschlüsse könnten über geschlitzte Bleche realisiert werden. In Abhängigkeit von den zu übertragenden Lasten könnte diese Variante der Ausführung der Diagonalen eine Alternative zu quadratischen Kastenquerschnitten darstellen.

Für Stützen und Riegel werden gerade Ebenen bzw. Anschlussflächen benötigt. Dies ist erforderlich, um die Riegel während der Montage begehen zu können und um ebene Anschlussflächen an den Stützen zu haben.

Somit sind nur Kastenquerschnitte als Stützen- und Riegelprofile sinnvoll. Hinsichtlich der Fertigung ist das Schweißen der Bleche unproblematisch. Diese Nähte können als Stumpfnähte, somit ohne Nahtvorbereitung, mit einem definierten Einbrand geschweißt werden. Eine Verfahrensprüfung ist zum Nachweis des Einbrands jedoch erforderlich. Die größeren Schwierigkeiten bilden die innen liegenden Schottbleche. Sie müssen begebar gestaltet und komplett verschweißt werden. Dieses Arbeiten im beengten Raum bedeutet

Arbeiten im Gefahrenbereich. Dies hat Konsequenzen für die Fertigung, hier sind zusätzliche Maßnahmen hinsichtlich der Stromquellen bzw. Schweißtechnik erforderlich sowie Maßnahmen zur Arbeitssicherheit. Um einen Vergleich der Querschnittswerte der Stützen ziehen zu können, wurde ein beispielhafter Querschnitt ohne die vorhandenen Steifen betrachtet, um die Referenzwerte des Querschnitts zu ermitteln.

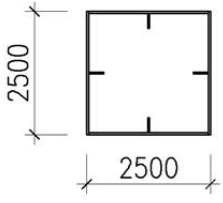
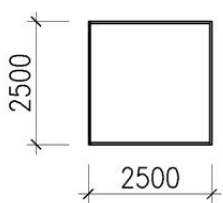
Abmessungen		2500x2500x40x40x40x40	Vergleichsquerschnitt 2500x2500x40x40x40x40
Statische Werte			
		(Steifen 300x40)	
A	[cm ²]	4416	3936
I _y = I _z	[cm ⁴]	42424000	3971000
W _y = W _z	[cm ³]	339392	317672
I _T	[cm ⁴]	59571300	59577000
I _ω	[cm ³]	82901	0
g	[kg/m]	3466,5	3089,7

Tabelle 3.4-1 – Vergleichsquerschnitt der Stütze

Um vergleichbare Querschnitte mit offenem Querschnitt und identischen Eigenschaften zu erhalten, wurde jeweils ein Querschnitt mit konstanten Außenabmessungen und einer mit konstanten Materialstärken kreiert. Beide besitzen annähernd gleiche Trägheitsmomente im Vergleich zu dem Referenzquerschnitt.

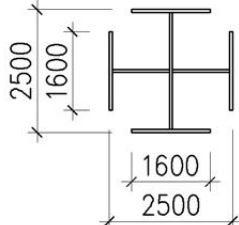
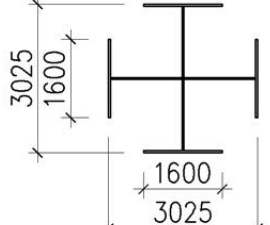
Bedingungen		Außenabmessungen konstant I _y = I _z konstant	Materialstärke konstant I _y = I _z konstant
Abmessungen		2500x2500x60x60x60x60	3025x3025x40x40x40x40
Statische Werte			
A	[cm ²]	6660	4900
I _y = I _z	[cm ⁴]	3942390	39760700
W _y = W _z	[cm ³]	315391	262881
I _T	[cm ⁴]	79583	26066
I _ω	[cm ³]	1219300	1216540
g	[kg/m]	5228,1	3846,5

Tabelle 3.4-2 – Vergleichbare offene Stützenquerschnitte

Für die Riegel ist die Fertigung weniger aufwändig im Vergleich zu den Stützen. Hier besteht nur die Problematik der umlaufend verschweißten Schottbleche im Inneren der Riegel. Diese sind erforderlich, um Kräfte und Momente in den Kasten einzuleiten. Die Ausbildung der Riegel als Kastenprofile ist hinsichtlich der Beanspruchung durch Torsionsmomente, welche sich aus horizontalen Lasten die an den Obergurten der Profile angreifen, sehr günstig. Offene Querschnitte sind hinsichtlich dieser Beanspruchung faktisch unbrauchbar.

Bei den Riegelprofilen ist der Vergleich von einem Kastenprofil zu einem Doppel-T-Querschnitt ebenfalls unter den Gesichtspunkten der konstanten Außenabmessungen und der konstanten Materialstärke betrachtet worden.

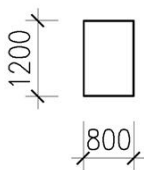
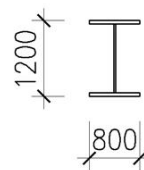
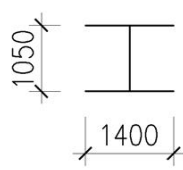
Bedingungen		Vergleichsquerschnitt	Außenabmessungen	Materialstärke
			konstant	konstant
			I_{\min} konstant	I_{\min} konstant
Abmessungen		1200x800x10x10	1200x800x55x25	1050x1400x10x10
Statische Werte				
A	[cm ²]	396	1043	383
I_y	[cm ⁴]	840292	3048352	848203
I_z	[cm ⁴]	453572	469364	457341
I_T	[cm ⁴]	892847	8617	127
I_w	[cm ³]	29760000	1538000000	1237000000
g	[kg/m]	310,8	818,7	300,6

Tabelle 3.4-3 – Vergleichbare offene Riegelquerschnitte

Bei den Vergleichen der Querschnitte hinsichtlich ihres statischen Wertes sowie ihrer Massen sind geschlossene Profile die kompakteren Querschnitte. Hinsichtlich identischer Trägheitsmomente der verschiedenen Ausführungen weisen Kastenquerschnitte die geringsten Werte an Querschnittsflächen auf, was eine geringere Masse zur Folge hat.

Ist es möglich, eine Zwischenlagerung des Trägers als Drehfederbettung zu gewährleisten, so ist der Einsatz von offenen Querschnitten durchaus sinnvoll und vertretbar.

Der große Vorteil von Kastenquerschnitten gegenüber offenen Querschnitten ist das Verhältnis von Platzbedarf zu dem dazu benötigten Raum. Hier bietet der Kastenquerschnitt schlicht und ergreifend bessere Querschnittswerte bei identischem Platzbedarf, was im Endeffekt auch eine geringere Querschnittsfläche und somit auch eine günstigere Kostensituation bedeutet.

Zusätzliche Maßnahmen zur Aussteifung der Bleche sind bei beiden Querschnittstypen erforderlich.

Der Problematik Plattenbeulen bei den Kastenquerschnitten steht bei offenen Querschnitten der Nachweis gegen Drillknicken bzw. Biegedrillknicken gegenüber. Beide Stabilitätsnachweise fordern zusätzliche Maßnahmen für Aussteifungen, so dass sich hier kein eindeutiges Fazit ziehen lässt, welche der beiden Möglichkeiten am Ende die günstigere darstellt. Klar ist jedoch, dass bei Beanspruchung der Querschnitte auf Torsion die Kastenquerschnitte eindeutig zu bevorzugen sind. Diese Torsionsmomente können zum Beispiel aus horizontalen Lasten resultieren, welche am Obergurt angreifen und rechtwinklig zur Stabachse wirken. Lasten aus Rohrschub, anschließende horizontale Aussteifungen von Bühnen oder eingeleitete Windlasten könnten mögliche Quellen dieser Kräfte sein.

3.5 Fazit

Bei den untersuchten Varianten ist festzustellen, dass die Konstruktionen, die das K-Fachwerk als Grundprinzip des statischen Systems aufweisen, die günstigsten Eigenschaften im Bezug auf die Masse und Verformung aufweisen. Dies bestätigen die in der Praxis angewandten Konstruktionen eindeutig. Somit bleibt festzuhalten, dass für das Kesselgerüst Maasvlakte sowie für Kesselgerüste ähnlicher Dimension und Beanspruchung das K-Fachwerk mit Abstand die günstigste Form der Gestaltung darstellt.

Für die Kopfpunkte stellen die Varianten, welche die Kesseldeckenträger teilweise direkt unterstützen, die günstigsten Lösungen dar. Die Varianten mit eingezogenen Stützen im oberen Schuss stellen hinsichtlich Massen und Verformung günstige Möglichkeiten der Ausführung dar, jedoch wird der hohe Fertigungsaufwand und die Verbandsführung rechtwinklig zur Fachwerkscheibe diese Vorteile aufwiegen.

Die nutzbaren Räume der Fachwerkscheiben liegen alle in einer annähernd identischen Größenordnung. Hier könnte nur durch die geometrische Ausbildung der Aussteifung eine günstigere Wahrnehmung der zur Verfügung stehenden Räume eintreten. So zum Beispiel, dass ein rechteckiger Raum günstiger ist, als viele kleine dreieckigen Räume. Aus rein objektiven Werten lässt sich hier keine Variante klar herausstellen. Die Varianten mit kreuzenden Diagonalstäben sind jedoch aufgrund der zerschnittenen nutzbaren Räume subjektiv und objektiv nicht sinnvoll.

In Anbetracht der Flächen für den Korrosionsschutz zählen auch hier die Flächen der Ausführungen, welche das K-Fachwerk als Grundprinzip aufweisen, mit zu den zu bevorzugenden Varianten.

4 Statische Berechnungen des Kesselgerüsts

4.1 Intension der untersuchten Variante

Die unter Kapitel 3 geführte Untersuchung der Varianten möglicher Ausführungen von Kesselgerüstwänden zeigt auf, dass die Grundstruktur des K-Fachwerks die günstigste Ausführung darstellt. Die untersuchten Varianten wurden als idealisierte Fachwerkformen betrachtet, ohne Rücksicht auf die Zwänge und Bedürfnisse des Anlagenbaus. Da aus der Anordnung der Anlagenkomponenten die Tragstruktur jedoch maßgeblich beeinflusst wird, ist eine ausführliche Betrachtung anhand der vorhandenen Konstruktion, um realistische Aussagen treffen zu können, sinnvoll. Hierbei sind die beiden Ausführungsvarianten, welche auf der Struktur des Kesselgerüsts Maasvlakte beruhen, interessant. Dies wäre die Ausführung MPP-A, welche die vorhandene Konstruktion des Rahmenfachwerks der Wand 7 darstellt, und die Ausführung MPP-B, welche ebenfalls die Wand 7 darstellt, jedoch mit dem Unterschied, dass die Knotenpunkte der Stäbe in der Fachwerkebene gelenkig ausgeführt sind.

Die sich im Vergleich dieser beiden Ausführungen darstellenden Differenzen im Bezug auf die Masse und die Verformung sind durchaus nachvollziehbar. So lässt die Ausführung MPP-B größere Verformungen zu, was aus den größeren Freiheitsgraden der Riegelanschlüsse an die Stützen her rührt. Die Masse der Riegel wächst, durch die Verschiebung der Momentenextrema in den Riegelbereich und der Verlagerung des Momenten-Nulldurchgangs in den Anschlusspunkt an. Mit dieser Grundlage stellt sich die Frage, ob dieser Mehrverbrauch an Material durch eine gelenkige und somit weniger aufwändige Anschlussgestaltung egalisiert oder wohlmöglich sogar eine Gesamteinsparung realisiert werden kann.

In diesem Kapitel werden die Unterschiede der Konstruktion aus dem Variantenvergleich zwischen den Ausführungen MPP-A zu MPP-B auf die Gesamtkonstruktion übertragen. Dies bedeutet, dass das gesamte Kesselgerüst mit dem Anspruch der gelenkig ausgebildeten Knotenpunkte bemessen wird, um die im Variantenvergleich ermittelten Differenzen detaillierter darzustellen und somit Aussagen für die Gesamtkonstruktion treffen zu können.

4.2 Erläuterung der untersuchten Ausführung

Ausgehend von dem Grundgedanken der Variante MPP-B werden die Anschlüsse der Riegel zu den Stützen hin in den Fachwerkebenen als gelenkig ausgeführt. Das statische System des Referenzobjektes Kesselgerüst Maasvlakte wird im Wesentlichen übernommen. Dort, wo es die Anlagentechnik zulässt, werden die Systemlinien der Diagonalstäbe in den Schnittpunkt der Schwerelinie des Riegels mit der Stützenwand hin verschoben, um geringere Anschlusshöhen im Vergleich zu dem Momenten-tragfähigen Anschluss zu erreichen. Speziell in den oberen und unteren Bereichen ist dies jedoch aufgrund der

Anordnung verschiedener Anlagenbestandteile nicht möglich. An diesen Punkten werden die Riegelanschlüsse von der Stützenwand in den Riegel hinein verschoben, so dass der Riegel gelenkig angeschlossen werden kann, aber an der Stützenwand ein Biegemoment aus dem Hebelarm des Riegelanschlusses in die Stütze einzuleiten ist. Detaillierte Ausführungen und Erklärungen zu dem Thema der Anschlussgestaltung sind in dem Kapitel 5 ersichtlich.

Die Systemlinien der Diagonalen wurden im unteren Bereich nicht angepasst, dies ist auf die Anordnung der Brenner bzw. Brennerstationen und die Lage der Kohlestaubleitungen zurückzuführen. Ab der Ebene +41,000 m bzw. +42,000 m werden alle Systemlinien den Diagonalen angepasst, mit Ausnahme der Anschlüsse in den Ebenen +76,000 m und +93,000 m der Wände 7 und 13. Hier kann aufgrund der Anordnung der Rußbläser keine Veränderung hinsichtlich der Lage der Diagonalen getätigt werden. Der Riegelanschluss wird zur Stütze hin als Anschluss des Typ IV bzw. Typ V ausgeführt. Die jeweiligen Anschlusstypen werden im Kapitel 5 – Anschlüsse detailliert beschrieben.

4.3 Ausgangssituation zu statischen Berechnungen

4.3.1 Allgemeine Informationen

In diesen statischen Berechnungen wird das Kesselgerüst betrachtet. Die statische Berechnung der Kesseldecke und der Bühnen des Kesselhauses sind nicht Bestandteil dieser Berechnungen, aber die Lasten aus diesen Konstruktionen sind berücksichtigt. Das Kesselgerüst ist die zentrale Konstruktion zu dem Komplex von Kesselhaus, Bunkerhaus und Luftvorheizer-Gebäude. Die Hauptaufgabe des Kesselgerüsts ist es, die Kesseldecke in 112 m Höhe zu halten und die Windlasten und die Stabilisierungslasten des Kesselhauses in X- und Y-Richtung, des Bunkerhauses in X-Richtung und des Luftvorheizer-Gebäudes in Y-Richtung aufzunehmen. Ein Überblick über die gesamte Aussteifung des Kesselgerüsts ist auf den folgenden Seiten dargestellt. Die Haupttragkonstruktion besteht aus 4 Stützen mit einem Achsabstand von 31,250 m in X-Richtung und 27,500 m in Y-Richtung. Die Auflager der Stützen sind gelenkig gelagert. Die Höhe der Konstruktion reicht von $\pm 0,000$ m bis +113,500 m, an dem Punkt der Auskragung bis +119,000 m. Zwischen den Stützen befinden sich Riegel mit einem vertikalen Achsabstand von 15 m bis 20 m und Diagonalstäben, welche als K-Fachwerk angeordnet sind. Zwei Stützen und die dazwischen liegenden Riegel und Diagonalen bilden einen Fachwerkrahmen. Die Stützen sind als quadratische Kastenquerschnitte bemessen, ab einer Höhe von +76,000 m als rechteckiger Kastenquerschnitt. Die Bleche der Stützen sind gegen Beulen im mittleren Bereich mit längs angeordneten Blechen ausgesteift. Die Quersteifen bzw. Schottbleche der Stützenwände liegen in einem Abstand von ≤ 5 m zueinander. Die Längssteifen wurden bei der statischen Berechnung berücksichtigt. Die Stöße der Stützen sind als Kontaktstöße ausgeführt. Die Diagonalen sind als quadratische Kastenquerschnitte ausgeführt, in einigen wenigen Fällen als rechteckiger Kastenquerschnitt. Die Bleche der Diagonalen sind nicht gegen Beulen ausgesteift. Die Anschlüsse der Diagonalen sind gelenkig. Die Riegel sind als rechteckige

Kastenquerschnitte bemessen. Die Stege der horizontalen Stäbe sind mit Längssteifen gegen Beulen ausgesteift. Die Gurtbleche sind nicht ausgesteift. Die Verbindung der Riegel an die Stütze ist als um die y-Achse gelenkig und um die z-Achse als biegesteif ausgeführt. Als Stahlsorte wird S355 verwendet, nur für die Auskragung und einige Pfosten findet S235 Anwendung. Die Verbindungen sind mit Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 ausgeführt und werden vorgespannt. Die Lasten des Kessels betragen in etwa 90000 kN ständige Lasten und 9000 kN veränderliche Lasten. Die Übertragung der vertikalen Kräfte in die Fundamente erfolgt über ausgesteifte Fußplatten mit den Abmaßen 3,3 m x 3,3 m. Die horizontalen Kräfte werden mit 4 Schubdübeln unter jeder Fußplatte übertragen. Die auftretenden Zugkräfte am Stützenfuß werden über Ankerstangen in die Fundamente übertragen. Die Lastermittlung für alle Lasten im Detail ist ersichtlich im Kapitel 2 – Lastermittlung für das Kesselgerüst und die Kesseldecke. Die Berechnung wurde als linear statische Untersuchung, unter Berücksichtigung von Imperfektionen in Übereinstimmung mit NEN (Niederländische Norm), durchgeführt. Die Horizontallasten des Kesselgerüsts aus Windeinwirkung wurden nach NEN 6702 – Technische Grundlagen für Bauwerke - ermittelt. Die Verbindungen zwischen den Riegeln und den Stützen sind gelenkig. Einige Riegel sind Bestandteil der Bühnen. Diese Stäbe empfangen als Teil des Kesselgehäuses zusätzliche Normalkräfte. Diese Normalkräfte werden in den statischen Berechnungen der Bühnen berücksichtigt. Knickuntersuchungen wurden nur für die Stäbe mit Druckkraft geführt. Die Riegel und der obere Gurt der Auskragung sind horizontal gelagert durch die Aussteifungen der Bühnen bzw. des Daches. Die Stabilisierungslasten wurden in diesen Aussteifungen berücksichtigt. Biegedrillknicknachweise sind notwendig für einige Balken der Auskragung. Für die anderen Balken sind Biegedrillknicknachweise nicht relevant, aufgrund ihrer Querschnittsgeometrie. Die Beuluntersuchung wurde für die Stützen, die horizontalen Stäbe und die Diagonalen bzw. Pfosten geführt.

4.3.2 Struktur

Die Hauptabmessungen des Kesselhauses erstrecken sich von $\pm 0,00$ m bis +122,00 m Bauhöhe; die Länge beträgt ca. 81 m und die Breite ca. 78 m.

Das Kesselgerüst selbst hat eine Bauhöhe von $\pm 0,00$ m bis +118,00 m; die Achsmaße betragen 27,500 m in globaler Y-Richtung und 31,250 m in X-Richtung. Die Kesseldecke, bemessen als ein System von Einfeld-Bindern, welche zum Tragrost verbunden werden, befindet sich auf einer Höhe von +115,460 m. Die Hauptachsen der Kesselgerüststützen sind H und M, die Reihen sind 7 und 13. Die Achsen des Kesselhauses erstrecken sich von A bis O und die Reihen von 1 bis 15.

Die Verbände des Bunkerhauses und das Kesselgerüst nehmen die Windlasten quer zum Kesselgerüst auf. Horizontallasten, die in der Achse des Kesselgerüsts wirken, werden über das Kesselgerüst abgetragen. In Achse B und F des Luftvorheizhauses werden vertikale Aussteifungen für die vorhandenen Wind- und Stabilisierungslasten vorgesehen. Die Aussteifungen sind jeweils über die gesamte Höhe ausgeführt. Horizontale Aussteifungen in

den Hauptebenen leiten horizontale Lasten zu den vertikalen Aussteifungen in die äußeren Wände und die Kesselgerüstwände.

Das Kesselgerüst stabilisiert sich selbst. Die 4 Wände sind jeweils mit K-Fachwerken ausgefüllt. Es ist somit in X- und Y-Richtung ausgesteift und fungiert als Festpunkt im Komplex des Kraftwerks.

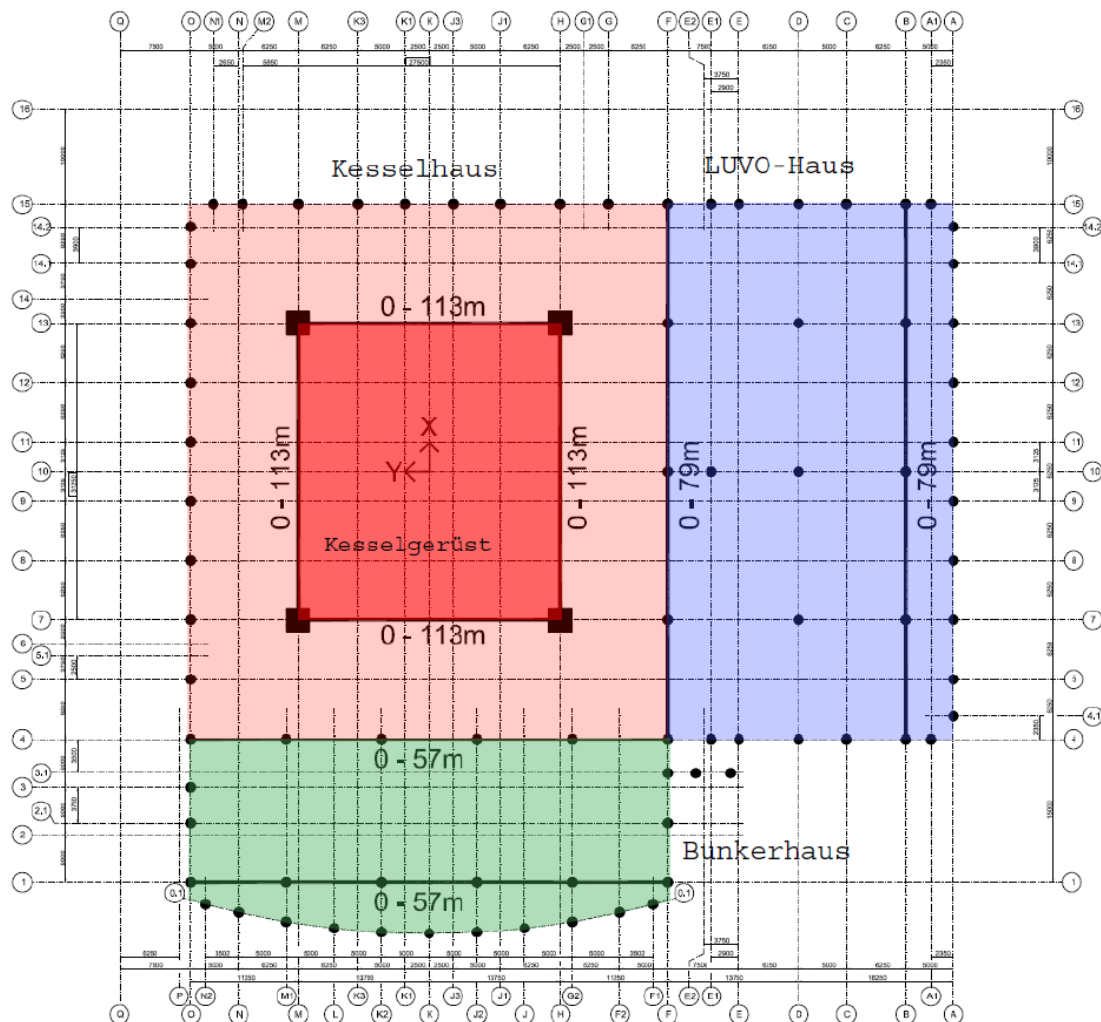


Abbildung 4.3.2 – Grundriss Kraftwerk Maasvlakte (siehe statische Berechnungen Anlage G)

Eine Stahlkonstruktion für den Kohlebunker wird neben dem Kesselgerüst von Reihe 1 bis 4 und Achse F bis O platziert. Die Stahlkonstruktion des Kohlebunkers wird in axialer Richtung mit dem Kesselhaus verbunden und in den Reihen steift es sich selbst aus.

Die Stahlkonstruktion des Luftvorheizers wird von Reihe 4 bis 15 in den Achsen A bis F platziert und ist mit dem Kesselhaus und dem Bunkerhaus in Längsrichtung verbunden und ausgesteift durch die Schubfelder in den Wänden der Reihen B und F.

Windlasten auf dem oberen Teil des Kesselhauses werden durch das Kesselgerüst direkt abgetragen. Alle Windlasten der äußeren Wände (Hüllkonstruktion) werden durch die horizontalen Aussteifungen in das Kesselgerüst eingeleitet. Das Kesselgerüst wird als Fachwerkkonstruktion ausgeführt, wobei alle Anschlüsse der Riegel an die Stützen in den jeweiligen Wandebenen gelenkig um die y-Achse des Riegels ausgefüllt werden. Die Nachweise und statischen Berechnungen wurden nach Theorie I. Ordnung, sprich linear,

geführt. Das ist in soweit vertretbar, da eine sehr hohe Fertigungsgenauigkeit vom Bauherrn gefordert und durch fertigungstechnische Maßnahmen, wie z.B. das Planfräsen der Stirnflächen von Kastenquerschnitten, realisiert wird.

Die statischen Berechnungen des Referenzkraftwerkes MPP3, in dem das Kesselgerüst eingebettet ist, umfasst folgende Kapitel:

0	Allgemeine Informationen, Grundsätze der Berechnung
0-1	Lastplan und dazugehörige Lastblätter
1-1	Bemessung der Verankerung
2	Lastermittlung für das Kesselhaus und den Tragrost
3	Tragrost
4	Kesselgerüst
5	Wände oberer Teil Kesselhaus
6	Allgemeine Informationen oberer Teil Kesselhaus Bühnen von +76,500 m bis +155,500 m
7	Wände unterer Teil Kesselhaus
8	Allgemeine Informationen Bühnen unterer Teil Kesselhaus Bühne +4,500 m bis +72,375 m
9	Wände Bunkerhaus
10	Allgemeine Informationen Bühnen Bunkerhaus Bühne ±0,000 m bis 57,750 m / Lüftergerüst / Montagebühnen / Dach
11	Wände Luftvorheizerhaus
12	Bühnen Luftvorheizerhaus
13	Kranträger Kesselhaus / Luftvorheizerhaus / Bunkerhaus
14	Kohlebunker
15	Bandagen
16	Anschlussstatik
	Anschlussstatik Kesselgerüst (16-02)

Die Grundsätze der statischen Berechnung und Konstruktion der Struktur (Gerüst und Bühnen) beruhen auf diversen DIN-Standards bzw. Tabellenwerken, welche auf diesen Standards beruhen. Der verwendete Werkstoff entspricht DIN EN 10025. In Anlehnung an DIN 18800-1 und der Anpassungsrichtlinie Stahlbau wurden S 235 JRG2, J2G3 und S 355 J2G3, M, ML als Werkstoffe mit folgenden Werten verwendet.

S 235		S 355	
$t < 40 \text{ mm}$	$f_{y,K} = 240 \text{ N/mm}^2$	$t < 40 \text{ mm}$	$f_{y,K} = 360 \text{ N/mm}^2$
$40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$	$f_{y,K} = 240 \text{ N/mm}^2$	$40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$	$f_{y,K} = 360 \text{ N/mm}^2$
$t > 80 \text{ mm}$	$f_{y,K} = 215 \text{ N/mm}^2$	$t > 80 \text{ mm}$	$f_{y,K} = 325 \text{ N/mm}^2$

4.3.3 Montage

Die Montage des Kesseltragrostes und Teile des Daches erfolgt auf Höhe +16,500 m. Für diese Aufgabe sind Montageträger in den Ecken der Haupttragkonstruktion platziert, auf welchen die horizontalen Träger lagern. Die Lagerhöhen sind +16,500 m in der Achse M, der Reihe 7 und 13, in Achse H beträgt die Höhe der Lager +20,625 m. Die Montageträger werden von einem Träger überspannt, welcher die 5 Hauptträger des Kesseltragrostes und Teile des Daches aufnimmt. Die Montagelasten sind enthalten in den Lastfällen LF101 ... LF104 und Lastkombinationen LK7 für die Höhe +16,500 m/+20,625 m und in den Lastfällen LF111 ... LF114 und den Lastkombinationen LK8 für die Höhe +111,660 m/+113,490 m. Die

Montage des Kesseltragrostes erfolgt, bevor die Montage der Bühnen des Kesselhauses beginnt. Hierfür werden nur die Eigenlasten der Haupttragkonstruktion zusammen mit den Montagelasten der Kesselaufleger betrachtet. Montagelasten bedeuten hauptsächlich lokale Spannungen in den unmittelbar betroffenen Riegeln. Windlasten während der Montage sind mit 10 % der Windlasten im fertigen Zustand angesetzt und bedeuten nur geringe Spannungen in den horizontalen Bauteilen. Aus diesem Grund sind Windlasten (und ebenfalls Stabilisierungslasten) nicht mit den Montagelasten überlagert.

4.3.4 Lasten

Die statischen Berechnungen aller Bestandteile beinhalten ständige, veränderliche und außergewöhnliche Lasten. Die ausführliche Darstellung der Lasten wird in dem Kapitel 2 der statischen Berechnung des Referenzobjektes dokumentiert. Die Werte, welche auf das Kesselgerüst einwirken, sind in den statischen Berechnungen unter der Anlage G nachvollziehbar. Wie in Kapitel 1 bereits erwähnt, wird davon ausgegangen, dass die Lasten richtig sind und alle Einwirkungen vollständig abgebildet wurden. Die Lastermittlung wurde nach DIN 1055 bzw. DIN 1055-100 geführt.

Die ständigen Lasten, die von dem Kesselgerüst abzutragen sind, resultieren aus den Lasten des Kesselgerüsts, der Kesseldecke (Tragrost), des Kessels, der Bühnen- und Dachkonstruktion mit dazugehöriger Verkleidung, der verschiedenen Einbauten sowie der Luftkanäle.

Ständige Lasten der kompletten Stahlkonstruktion beinhalten 10 % Zugabe für Aussteifungen und Verbindungsmittel. Globale Horizontallasten auf die unterschiedlichen Kesselgerüstwände werden in den jeweiligen Hauptkapiteln des Bunkerhauses, Luftvorheizerhaus etc. ermittelt. Veränderliche Lasten sind die Nutzlasten aus dem Betrieb des Dampferzeugers. Diese schließen die im Verbrennungsprozess entstehende Asche, die Wasserfüllung des Kessels, Lasten aus dem Betrieb der Luftkanäle sowie Rohrlasten und Lasten aus der Führung des Kessels ein. Zusätzliche Flächenlasten der Bühnen können je nach Forderung des Kunden reduziert werden. Um etwaigen Veränderungen oder einer Umgestaltung der Anlagentechnik zu entsprechen, wurde eine Reserverlast angesetzt, die als veränderlich betrachtet wird.

Als weitere veränderliche Lasten gehen die Windlasten und die Stabilisierungslasten (Imperfektion) in die Kombination ein. Diese werden in ihrer Wirkung in jeweils jede Richtung betrachtet. Die Windlasten des Kesselhauses wurden nach NEN 6702 mit folgenden Parametern ermittelt.

Maasvlakte / Niederlande	Gebiet II
Lokaler Winddruck	p_w
Reibung an den Wänden	$c_f = 0,04$
Vertikale Windlast auf das Dach	$c_{pe} = -0,7$

Die detaillierte Ermittlung der äußeren Einwirkungen auf das Kesselhaus ist im Anhang G im Kapitel 0 der Referenzstatik nachzuvollziehen.

Die Setzung der Fundamente nach DIN 18800-1 (Element 706) unter den Druckkräften wird ebenfalls stützenweise mit in der Kombination als veränderliche Einwirkung berücksichtigt.

Als sonstige veränderliche Lasten gehen Temperatureinwirkungen, Reibung sowie positiver und negativer Innerer Druck der Luftkanäle und die Temperatureinwirkung des Luftgaskanals in die Kombination ein.

Die kritischen Montagezustände bei dem Zusammenbau der Kesseldecke auf der Ebene +16,500m und dem Absetzen auf der Ebene +111,660m werden mit den dazugehörigen Lasten des Tragrostes selbst, des Daches, Teile des Kessels und diverser Montagehilfsmittel berücksichtigt. Diese Lasten gehen als ständige Lasten ein. Weiterhin werden die veränderlichen Laststellungen der Montagekräne auf dem Niveau der Kesseldecke berücksichtigt, sie stellen eine nicht ständige Betriebslast dar.

LF	Einwirkung	Benennung	Lastfalltyp
01	Eigenlast	Eigenlast Kesselgerüst	Ständig
02	Eigenlast	Eigenlasten Bühnen und Dach	Ständig
03	Eigenlast	Eigenlast Gitterroste	Ständig
04	Eigenlast	Dachverkleidung	Ständig
05	Eigenlast	Tragrost/Kesselaufleger	Ständig
06	Eigenlast	Einbauten	Ständig
07	Eigenlast	Kessel	Ständig
08	Eigenlast	Luftkanäle	Ständig
14	Eigenlast	Dachverkleidung ΔG	Veränderlich
16	Reserve	Reservelasten	Veränderlich
21	Nutzlast	nicht ständige Betriebslast	Veränderlich
22	Nutzlast	Kessel Wasserfüllung	Veränderlich
23	Nutzlast	Kessel Asche	Veränderlich
24	Nutzlast	Luftkanäle	Veränderlich
31	Verkehrslast	Begehung Bühnen	Veränderlich
41	Sonstiges	Innerer Druck, Temperatur, Reibung	Veränderlich
42	Sonstiges	Luftkanal Innerer Druck +	Veränderlich
43	Sonstiges	Luftkanal Innerer Druck -	Veränderlich
44	Temperatureinw.	Luftgaskanal Temperatur	Veränderlich
45	Nutzlast	Hor. Rohrlasten und Führung des Kessels in +X	Veränderlich
46	Nutzlast	Hor. Rohrlasten und Führung des Kessels in -X	Veränderlich
47	Nutzlast	Hor. Rohrlasten und Führung des Kessels in +Y	Veränderlich
48	Nutzlast	Hor. Rohrlasten und Führung des Kessels in -Y	Veränderlich
51	Windlast	Wind in +X	Veränderlich
52	Windlast	Wind in -X	Veränderlich
53	Windlast	Wind in +Y	Veränderlich
54	Windlast	Wind in -Y	Veränderlich
55	Windlast	Innerer Druck +	Veränderlich
61	Imperfektion	Stabilisierungslasten in +X	Veränderlich
62	Imperfektion	Stabilisierungslasten in -X	Veränderlich
63	Imperfektion	Stabilisierungslasten in +Y	Veränderlich
64	Imperfektion	Stabilisierungslasten in -Y	Veränderlich
71	Baugrundsetzung	Setzung M/7	Veränderlich
72	Baugrundsetzung	Setzung H/7	Veränderlich
73	Baugrundsetzung	Setzung M/13	Veränderlich
74	Baugrundsetzung	Setzung H/13	Veränderlich
98		Biegemomente von exzentrischen Verbindungen	Imperfektion
99		Torsionsmoment in horizontalen Stäben	Veränderlich

LF	Einwirkung	Benennung	Lastfalltyp
101	Montagelast	Montage +16,50 m Eigenlast Tragrost	Ständig
102	Montagelast	Montage +16,50 m Eigenlast Dach	Ständig
103	Montagelast	Montage +16,50 m Eigenlast Kesselteile	Ständig
104	Montagelast	Montage +16,50 m Eigenlast Montagehilfsmittel	Ständig
111	Montagelast	Montage +111,66 m Eigenlast Tragrost	Ständig
112	Montagelast	Montage +111,66 m Eigenlast Dach	Ständig
113	Montagelast	Montage +111,66 m Eigenlast Kesselteile	Ständig
114	Montagelast	Montage +111,66 m Eigenlast Montg.-hilfsmittel	Ständig
150	Montagelast	Kran 1	Veränderlich
151	Montagelast	Kran 2	Veränderlich
152	Montagelast	Kran 3	Veränderlich
153	Montagelast	Kran 4	Veränderlich

Tabelle 4.3.4 – Übersicht Lastfälle (siehe statische Berechnungen Anlage G)

4.3.5 Lastkombinationen

Die Kombination der Lasten erfolgt nach DIN 1055-100. Die Lastgruppen (LG) sind für die Bemessung der offenen Querschnitte gegenüber Biegedrillknicken erstellt worden.

LG	Benennung	Lastfälle in der Lastfallgruppe
01	LG f. BGDK	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.35 \cdot LF3 + 1.35 \cdot LF4 + 1.35 \cdot LF5 + 1.35 \cdot LF6 + 1.35 \cdot LF7 + 1.35 \cdot LF8 + 1.35 \cdot LF14 + 1.5 \cdot LF22 + 1.5 \cdot LF23 + 1.5 \cdot LF24 + 1.35 \cdot LF43 + 0.9 \cdot LF52 + 1.35 \cdot LF62$
02	LG f. BGDK	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.35 \cdot LF3 + 1.35 \cdot LF4 + 1.35 \cdot LF5 + 1.35 \cdot LF6 + 1.35 \cdot LF7 + 1.35 \cdot LF8 + 1.35 \cdot LF14 + 1.5 \cdot LF22 + 1.5 \cdot LF23 + 1.5 \cdot LF24 + 1.05 \cdot LF31 + 1.35 \cdot LF43 + 0.9 \cdot LF51 + 1.35 \cdot LF61 + 1.5 \cdot LF72$
03	LG f. BGDK	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.35 \cdot LF3 + 1.35 \cdot LF4 + 1.35 \cdot LF5 + 1.35 \cdot LF6 + 1.35 \cdot LF7 + 1.35 \cdot LF8 + 1.35 \cdot LF14 + 1.35 \cdot LF22 + 1.35 \cdot LF23 + 1.35 \cdot LF24 + 1.35 \cdot LF42 + 1.35 \cdot LF44 + 1.35 \cdot LF48 + 1.5 \cdot LF52 + 1.35 \cdot LF62 + 1.5 \cdot LF71$
04	LG f. BGDK	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.35 \cdot LF3 + 1.35 \cdot LF4 + 1.35 \cdot LF5 + 1.35 \cdot LF6 + 1.35 \cdot LF7 + 1.35 \cdot LF8 + 1.35 \cdot LF14 + 1.35 \cdot LF22 + 1.35 \cdot LF23 + 1.35 \cdot LF24 + 1.05 \cdot LF31 + 1.35 \cdot LF42 + 1.35 \cdot LF44 + 1.35 \cdot LF48 + 1.5 \cdot LF51 + 1.35 \cdot LF61 + 1.5 \cdot LF72$
05	LG f. BGDK	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.35 \cdot LF3 + 1.35 \cdot LF4 + 1.35 \cdot LF5 + 1.35 \cdot LF6 + 1.35 \cdot LF7 + 1.35 \cdot LF8 + 1.35 \cdot LF14 + 1.35 \cdot LF21 + 1.35 \cdot LF24 + 1.5 \cdot LF31 + 1.35 \cdot LF41 + 1.35 \cdot LF42 + 1.35 \cdot LF44 + 1.35 \cdot LF46 + 0.9 \cdot LF54 + 1.35 \cdot LF63 + 1.5 \cdot LF72 + LF98$
06	LG f. BGDK	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.35 \cdot LF3 + 1.35 \cdot LF4 + 1.35 \cdot LF5 + 1.35 \cdot LF6 + 1.35 \cdot LF7 + 1.35 \cdot LF8 + 1.35 \cdot LF14 + 1.35 \cdot LF21 + 1.35 \cdot LF24 + 1.5 \cdot LF31 + 1.35 \cdot LF42 + 1.35 \cdot LF44 + 1.35 \cdot LF45 + 0.9 \cdot LF51 + 0.9 \cdot LF55 + 1.35 \cdot LF64 + 1.5 \cdot LF71$
07	LG f. BGDK	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.35 \cdot LF3 + 1.35 \cdot LF4 + 1.35 \cdot LF5 + 1.35 \cdot LF6 + 1.35 \cdot LF7 + 1.35 \cdot LF8 + 1.35 \cdot LF14 + 1.35 \cdot LF21 + 1.35 \cdot LF24 + 1.5 \cdot LF31 + 1.35 \cdot LF42 + 1.35 \cdot LF44 + 0.9 \cdot LF51 + 0.9 \cdot LF55 + 1.35 \cdot LF63 + 1.5 \cdot LF72 + LF98$
08	LG f. BGDK	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.35 \cdot LF3 + 1.35 \cdot LF4 + 1.35 \cdot LF5 + 1.35 \cdot LF6 + 1.35 \cdot LF7 + 1.35 \cdot LF8 + 1.35 \cdot LF21 + 1.35 \cdot LF24 + 1.5 \cdot LF31 + 1.35 \cdot LF42 + 1.35 \cdot LF44 + 0.9 \cdot LF51 + 0.9 \cdot LF55 + 1.35 \cdot LF64 + 1.5 \cdot LF71$
09	LG f. BGDK	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.35 \cdot LF3 + 1.35 \cdot LF4 + 1.35 \cdot LF5 + 1.35 \cdot LF6 + 1.35 \cdot LF7 + 1.35 \cdot LF8 + 1.35 \cdot LF14 + 1.35 \cdot LF21 + 1.35 \cdot LF24 + 1.5 \cdot LF31 + 0.9 \cdot LF51 + 0.9 \cdot LF55$
10	LG f. BGDK	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.35 \cdot LF3 + 1.35 \cdot LF4 + 1.35 \cdot LF5 + 1.35 \cdot LF6 + 1.35 \cdot LF7 + 1.35 \cdot LF8 + 1.5 \cdot LF51$
11	LG f. BGDK	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.35 \cdot LF3 + 1.35 \cdot LF4 + 1.35 \cdot LF5 + 1.35 \cdot LF6 + 1.35 \cdot LF7 + 1.35 \cdot LF8 + 1.5 \cdot LF52 + LF98$

Tabelle 4.3.5-1 – Übersicht Lastkombination (siehe statische Berechnungen Anlage G)

Die Lastkombinationen (LK) sind für die Nachweisführung des Kesselgerüsts maßgebend. Hier werden die angreifenden Lasten so miteinander kombiniert, dass die maximalen und somit für die Bemessung entscheidenden Schnittkräfte dargestellt werden.

LK	Benennung	Lasten in der Lastkombination
01	Nicht ständige Betriebslast (dominierender Lastfall)	1.35*LF1/S + 1.35*LF2/S + 1.35*LF3/S + 1.35*LF4/S + 1.35*LF5/S + 1.35*LF6/S + 1.35*LF7/S + 1.35*LF8/S + 1.35*LF14 + 1.35*LF16 + 1.5*LF21 + 1.5*LF22 + 1.5*LF23 + 1.5*LF24 + 1.05*LF31 + 1.35*LF41 + 1.35*LF42 oder 1.35*LF43 + 1.35*LF44 + 1.35*LF45 oder 1.35*LF46 oder 1.35*LF47 oder 1.35*LF48 + 0.9*LF51 oder 0.9*LF52 oder 0.9*LF53 oder 0.9*LF54 + 0.9*LF55 oder -0.9*LF55 + 1.35*LF61 oder 1.35*LF62 oder 1.35*LF63 oder 1.35*LF64 + 1.5*LF71 oder 1.5*LF72 oder 1.5*LF73 oder 1.5*LF74 + LF98 + 1.45*LF99
02	Verkehrslasten mit zusätzlichen Flächenlasten (dominierender Lastfall)	1.35*LF1/S + 1.35*LF2/S + 1.35*LF3/S + 1.35*LF4/S + 1.35*LF5/S + 1.35*LF6/S + 1.35*LF7/S + 1.35*LF8/S + 1.35*LF14 + 1.35*LF16 + 1.35*LF21 + 1.35*LF22 + 1.35*LF23 + 1.35*LF24 + 1.5*LF31 + 1.35*LF41 + 1.35*LF42 oder 1.35*LF43 + 1.35*LF44 + 1.35*LF45 oder 1.35*LF46 oder 1.35*LF47 oder 1.35*LF48 + 0.9*LF51 oder 0.9*LF52 oder 0.9*LF53 oder 0.9*LF54 + 0.9*LF55 oder -0.9*LF55 + 1.35*LF61 oder 1.35*LF62 oder 1.35*LF63 oder 1.35*LF64 + 1.5*LF71 oder 1.5*LF72 oder 1.5*LF73 oder 1.5*LF74 + LF98 + 1.45*LF99
03	Wind	1.35*LF1/S + 1.35*LF2/S + 1.35*LF3/S + 1.35*LF4/S + 1.35*LF5/S + 1.35*LF6/S + 1.35*LF7/S + 1.35*LF8/S + 1.35*LF14 + 1.35*LF16 + 1.35*LF21 + 1.35*LF22 + 1.35*LF23 + 1.35*LF24 + 1.05*LF31 + 1.35*LF41 + 1.35*LF42 oder 1.35*LF43 + 1.35*LF44 + 1.35*LF45 oder 1.35*LF46 oder 1.35*LF47 oder 1.35*LF48 + 1.5*LF51 oder 1.5*LF52 oder 1.5*LF53 oder 1.5*LF54 + 1.5*LF55 oder -1.5*LF55 + 1.35*LF61 oder 1.35*LF62 oder 1.35*LF63 oder 1.35*LF64 + 1.5*LF71 oder 1.5*LF72 oder 1.5*LF73 oder 1.5*LF74 + LF98 + 1.45*LF99
04	Wind	0.9*LF1/S + 0.9*LF2/S + 0.9*LF3/S + 0.9*LF4/S + 0.9*LF5/S + 0.9*LF6/S + 0.9*LF7/S + 0.9*LF8/S + 0.9*LF14 + 0.9*LF16 + 1.35*LF21 + 1.35*LF22 + 1.35*LF23 + 1.35*LF24 + 1.05*LF31 + 1.35*LF41 + 1.35*LF42 oder 1.35*LF43 + 1.35*LF44 + 1.35*LF45 oder 1.35*LF46 oder 1.35*LF47 oder 1.35*LF48 + 1.5*LF51 oder 1.5*LF52 oder 1.5*LF53 oder 1.5*LF54 + 1.5*LF55 oder -1.5*LF55 + 1.35*LF61 oder 1.35*LF62 oder 1.35*LF63 oder 1.35*LF64 + 1.5*LF71 oder 1.5*LF72 oder 1.5*LF73 oder 1.5*LF74 + LF98 + 1.45*LF99
05	Bemessung	LK1/S oder LK2/S oder LK3/S oder LK4/S
06	Verformung	LF1/S + LF2/S + LF3/S + LF4/S + LF5/S + LF6/S + LF7/S + LF8/S + LF14 + LF16 + LF21 + LF22 + LF23 + LF24 + LF31 + LF41 + LF42 oder LF43 + LF44 + LF45 oder LF46 oder LF47 oder LF48 + LF51 oder LF52 oder LF53 oder LF54 + LF55 oder -1*LF55 + LF61 oder LF62 oder LF63 oder LF64 + LF71 oder LF72 oder LF73 oder LF74
07	Montage +16,50 m	1.35*LF1/S + 1.35*LF101/S + 1.35*LF102/S + 1.35*LF103/S + 1.35*LF104/S
08	Montage +111,66 m	1.35*LF1/S + 1.35*LF111/S + 1.35*LF112/S + 1.35*LF113/S + 1.35*LF114/S
09	Bemessung Montage	LK7 oder LK8
11	G1 - max. Eigenlast	LF1/S + LF2/S + LF3/S + LF4/S + LF5/S + LF6/S + LF7/S + LF8/S + LF14/S + LF16/S
12	G2 – min. Eigenlast	LF1/S + LF2/S + LF3/S + LF4/S + LF5/S + LF6/S + LF7/S + LF8/S
13	Q1 – Betriebslast	LF21/S + LF22/S + LF23/S + LF24/S
14	Q2.1 – Verkehrslast	1.25*LF31/S
15	Q2.2 – Innerer Druck, Temperatur, Reibung in +/- X	LF41 + LF42 oder LF43 + LF44 + LF45 oder LF46
16	Q2.3 – Innerer Druck, Temperatur, Reibung in +/- Y	LF41 + LF42 oder LF43 + LF44 + LF47 oder LF48
17	Q10 – Wind in +X	0.93*LF51/S
18	Q12 – Wind in -X	0.93*LF52/S
19	Q11 – Wind in +Y	0.93*LF53/S
20	Q13 – Wind in -Y	0.93*LF54/S
21	Q20 – Stabilisierungslast in X	LF61/S

LK	Benennung	Lasten in der Lastkombination
22	Q21 – Stabilisierungslast in Y	LF63/S
23	Q30 – Setzung	LF71 oder LF72 oder LF73 oder LF74
25	Biegedrillknicken	1,0*LG1 oder 1,0*LG2 oder 1,0*LG3 oder 1,0*LG4 oder 1,0*LG5 oder 1,0*LG6 oder 1,0*LG7 oder 1,0*LG8 oder 1,0*LG9 oder 1,0*LG10 oder 1,0*LG11
31	Wind und Stabilisierung in +X	1.5*LF51/S + 1.35*LF61/S
32	Wind und Stabilisierung in -X	1.5*LF52/S + 1.35*LF62/S
33	Wind und Stabilisierung in +Y	1.5*LF53/S + 1.35*LF63/S
34	Wind und Stabilisierung in -Y	1.5*LF54/S + 1.35*LF64/S
35	Montage	1.35*LF1/S + 1.35*LF2/S + 1.35*LF3/S + 1.35*LF4/S + 1.35*LF5/S + 1.35*LF6/S + 1.35*LF7/S + 1.35*LF8/S + 1.35*LF51 oder 1.35*LF52 oder 1.35*LF53 oder 1.35*LF54 + 1.35*LF150 oder 1.35*LF151 oder 1.35*LF152 oder 1.35*LF153

Tabelle 4.3.5-1 – Lastfälle (siehe statische Berechnungen Anlage G)

4.4 Bemessung der Konstruktion

Die Dokumentation der statischen Berechnungen ist im Anhang in der Anlage G ersichtlich. Aufgrund des Umfangs der Statik liegt dieses Dokument in digitaler Form auf CD bei.

4.4.1 Verformung

In den statischen Berechnungen werden die horizontalen Verformungen des Kesselgerüsts in den einzelnen Wandebenen sowie die Verschiebung der Stützenköpfe und die Verformung der Auskragung in vertikaler Richtung dargestellt. Für die Betrachtung wurden die Lastfälle 51 – 71 und die Lastkombination LK6 verwendet.

4.4.2 Spannungsanalyse

In den statischen Berechnungen in der Anlage wurden die jeweiligen Bauteile unter den Schnittkräften der Lastkombinationen LK 1 - 4, LK 7 und LK8 bemessen. Die Spannungsnachweise wurden nach DIN 18800-1 geführt.

4.4.3 Biegeknicknachweis

Aufgrund der Abmessungen der Stützen von 2500 mm x 2500 mm liegen sehr geringe Schlankheitswerte vor, was den Nachweis gegenüber Biegeknicken nicht maßgebend erscheinen lässt. Der Biegeknicknachweis wurde stellvertretend für alle anderen Stützenabschnitte für den maßgebenden Stützenbereich S3 geführt, da hier der kleinste Abminderungsfaktor κ und die größte Spannungsausnutzung vorliegt. Die Nachweise wurden für die Stützen H/7 und M/13 geführt. Für alle anderen Stützenabschnitte wurde der Abminderungsfaktor κ ermittelt, um nachzuweisen, dass die größte Abminderung im Stützenbereich S3 vorhanden ist. Die Schnittkräfte der Stützen wurden an den maßgebenden Stellen des Stützenabschnittes ermittelt. Hierbei wurden die Teilsicherheitsbeiwerte der LK3, welche für den Großteil der zu bemessenden Stäbe

maßgebend ist, verwendet. Für die Riegel und Diagonalen sowie der Auskragung wurden die Schnittgrößen der Lastkombinationen LK 1 - 4 verwendet. Der Nachweis der Stabilität entspricht DIN 18800-2 bis 4.

4.4.4 Biegedrillknicken

Der Nachweis gegen Biegedrillknicken ist nur für die Querschnitte, die in der Auskragung als horizontale Träger verwendet wurden, zu führen, da hier offene Profile zum Einsatz kommen. Die Bemessung erfolgte jeweils als Einfeldträger mit Normalkraft und Biegemomente. In der Referenzstatik wurde der Nachweis mit Hilfe der Schnittgrößen aus den Lastgruppen LG 1 – 11 erbracht. Um eine identische Überlagerung der Lasten darzustellen, wurden diese Lastgruppen in der Lastkombination LK 25 zusammengefasst und deren Resultate für die Bemessung herangezogen. Für die restliche Kesselgerüstkonstruktion ist der Nachweis nicht zu führen, da hier nur Kastenquerschnitte zum Einsatz kommen.

4.4.5 Beulnachweis

Die Nachweise der Stützenwände werden als mittig ausgesteifte Beulfelder betrachtet und nachgewiesen. Die Druckkräfte in den Stützenquerschnitten der einzelnen Abschnitte sind nahezu konstant, so dass die Verteilung der Normalkräfte mit $\psi = 1$ angesetzt wird. Der Nachweis wird nach den Beulwerttafeln von Köppel/Scheer/Müller geführt. Die Flanschbleche der Riegel werden über das $\text{grenz}(b/t)$ -Verhältnis nach DIN 18800-3 (Element 304) gegen Beulen untersucht (vgl. stat. Berechnungen Anlage G). Die Riegelstege werden mit dem RStab-Modul FE-Beul, was ebenfalls auf der DIN 18800 - Teil 3 beruht, hinsichtlich Beulen untersucht. Teilweise sind in den Riegelstegen Steifen erforderlich. Die Kastenträger der Diagonalen und der Auskragung werden durch eine Betrachtung der (b/t) -Verhältnisse gegen Beulen untersucht.

4.5 Resultate der statischen Berechnung im Vergleich zum Referenzobjekt

Im Vergleich der nach der statischen Berechnung darstellenden Ausführung des Kesselgerüstes zu der vorhandenen Struktur ist festzustellen, dass die Spannungen im obersten Schuss bei der gelenkig ausgeführten Variante um rund 10 % geringer sind als bei der vorhandenen Ausführung. Die Schnittkräfte in den Stützen sind dahingehend verringert, dass die Dimension der Momente aus dem Riegel reduziert wurden. Doch der außermittige Anschluss der Riegel mit dem dazugehörigen Hebelarm ruft ein Moment hervor, welches dem Moment aus der Umlagerung aus dem Riegel nahe kommt. Letztendlich kann man davon ausgehen, dass die Momentenlinie verschoben wurde, so dass im Gelenk der Momentennulldurchgang vorliegt. Die Charakteristik des Momentenverlaufs ist geblieben, nur dass der größere Momentenanteil im positiven Bereich des Feldes liegt. Das Moment in

der Stütze in dem Anschlussbereich der Riegel resultiert aus dem Hebelarm von Außenkante Stütze zu der Schwerelinie des Stützenprofils.

Aus der Vergleichsstatik ist erkennbar, dass die Schnittkräfte im Wesentlichen gleich geblieben sind. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die stabilisierende Wirkung aus dem Dreieck, welches sich aus Stütze, Riegel und Diagonale ergibt, hervorgeht. Der „kleine“ biegesteife Anschluss hat im Vergleich zu dem „großen“ Dreieck nur eine geringe Bedeutung.

Die wesentlichste Veränderung der Schnittkräfte ist im Bereich der veränderten Anschlüsse zu verzeichnen. Durch den Einsatz der gelenkigen Anschlüsse anstatt der biegesteifen Riegelanschlüsse ist die Momentenumlagerung aus den Riegel in die Stütze nicht mehr möglich. An dem Gelenk entsteht ein Momentennulldurchgang. Die Riegel sind in diesem Fall mit einem Zweifeldträger vergleichbar, welche in der Mitte durch die anschließenden Diagonalen gestützt wird. Die äußeren Auflager sind die Anschlüsse an die Stütze. Diese Verlagerung der Schnittkräfte bedeutet für den Riegel ein Verschieben der Stabmomente in die Riegelfelder. Da der Einfluss des Anschlusses, wie oben bereits erwähnt, auf die vorhandenen Schnittkräfte eher gering ist, können die Riegel in der Regel diese Mehrbelastung ohne Vergrößerung des Querschnitts ertragen. In Einzelfällen ist der Querschnitt zu verstärken bzw. größer zu dimensionieren, was auf die Sicherheit gegen Beulen zurückzuführen ist.

Ziel ist es, die Anschlüsse so auszubilden, dass die Diagonale zuerst an den Riegel anschließen und dann der Riegel an die Stützen. So soll sichergestellt werden, dass die Normalkräfte der Diagonalen nur in den Riegel eingeleitet werden und in Normalkräfte des Riegels umgelegt werden. Das Dreieck der beiden Diagonalen mit dem Riegel soll ein geschlossenes statisches System ergeben. Die Querkräfte sollen hauptsächlich über die Anschlusspunkte zur Stütze hin übertragen werden. Die Stützenquerschnitte sind teilweise massiver ausgeführt worden, um die Nachweiskriterien, speziell an den Knotenpunkten, zu erfüllen. Die Riegel- und Diagonalenquerschnitte wurden aufgrund der geänderten Anschlussbedingungen teilweise vergrößert, was in der folgenden Übersicht dargestellt ist.

Querschnitts-nummer	MPP-A (biegesteife Anschlüsse)	MPP-B (gelenkige Anschlüsse)	Position
201	TO 1400/800/10/10/15/15	TO 1400/800/10/10/ 20/20	R1
207	TO 2000/800/20/20/30/30	TO 2000/800/20/20/ 35/35	R2.1
209	TO 1200/800/10/10/28/28	TO 1200/800/ 12/12/30/30	R3.2
227	TO 1500/800/15/15/25/25	TO 1500/800/15/15/ 30/30	R13.2
228	TO 1500/800/35/35/70/70	TO 1500/800/35/35/ 80/80	R13.1
231	TO 800/800/12/12/25/25	TO 800/800/ 15/15/30/30	R11.3
246	TO 1550/800/25/25/65/65	TO 1550/800/25/25/ 70/70	R19.2
248	TO 1550/800/20/20/45/45	TO 1550/800/20/20/ 50/50	R19.1
249	TO 1200/800/20/20/25/25	TO 1200/800/20/20/ 30/30	R18.3
255	TO 800/800/20/20/22/22	TO 800/800/20/20/ 25/25	R18.2
266	TO 1550/800/25/25/65/65	TO 1550/800/25/25/ 70/70	R26.2
268	TO 1550/800/20/20/45/45	TO 1550/800/20/20/ 50/50	R26.1
269	TO 1200/800/20/20/25/25	TO 1200/800/20/20/ 30/30	R25.3

Querschnitts- nummer	MPP-A (biegesteife Anschlüsse)	MPP-B (gelenkige Anschlüsse)	Position
302	TO 800/600/90/90/45/45	TO 800/600/ 50/50/50/50	D2
503	HEB 1000	HEM 1000	A3/A4 -
504	HEM 1000	IF HE-B 1000-10	A5-A8 -
508	HEA 600	HEA 700	A13
510	IF HE-A 320-15	IF HE-A 360 -15	A29
511	IF HE-A 340-25	IF HE-A 400 -25	A17/A18 -
517	HEB 600	HEB 700	A16b A30
1201	TO 1400/800/10/10/15/15	TO 1400/800/10/10/ 20/20	R1
1207	TO 2000/800/20/20/30/30	TO 2000/800/20/20/ 35/35	R2.1
1228	TO 1500/800/35/35/70/70	TO 1500/800/35/35/ 80/80	R13.1
1248	TO 1550/800/20/20/45/45	TO 1550/800/20/20/ 50/50	R19.1
1268	TO 1550/800/20/20/45/45	TO 1550/800/20/20/ 50/50	R26.1
Masse Stahl Σm	2714,030 t	2757,670 t	
Δm		+ 43,640 t	

Tabelle 4.5 – Querschnittsänderungen

Die Querschnitte sind durch die veränderten Anschlussbedingungen angewachsen. In der Summe bedeutet das für die Masse, das bei der Ausführung mit gelenkigen Anschlüssen um die y-Achse des Riegels ein Mehraufwand an Material von 43,64 t entsteht. Der Fertigungsaufwand wird sich nicht großartig ändern, da die jeweiligen Positionen „nur“ mit anderen Querschnitten zu fertigen sind. Die Abläufe und Arbeitsschritte werden dadurch nicht beeinflusst. Prozentual betrachtet erhöht sich somit die Gesamtmasse aus der reinen Stabstatik um 1,60 %. Diese Werte sind jedoch mit dem Hintergrund zu betrachten, dass zusätzlich noch Schottblech und Steifen zur lokalen Einleitung von Kräften erforderlich werden. Diese Bauteile sind bei beiden Varianten notwendig, so dass die finale Masse des Kesselgerüsts jeweils höher ist als hier ausgewiesen. Die jeweiligen Stahlmassen erhöhen sich daher beide um den nahezu identischen Betrag, was dazu führt, dass der effektive Mehraufwand an Stahlmasse tatsächlich geringer ist, als es die 1,60 % ausdrücken. Betrachtet man die Verformung, so ist hier in X-Richtung eine horizontale Auslenkung von max. 213,7 mm in der Lastkombination LK 6 zu verzeichnen, das entspricht einem Zuwachs von 1,37 %. Diese Werte geben recht deutlich das Bild wieder, welches vor der Bemessung erwartet wurde. Um so überraschender ist es, dass die Auslenkung in globaler Y-Richtung auf max. 242,2 mm sogar um 2,41 % zurückgegangen ist. Dies ist die Folge der vergrößerten Querschnitte im unteren Bereich der Stützen. Aufgrund der Führung der Aussteifungen zwischen den Pfosten und die damit geringere Wirkung der Verbände wird hier die Verformbarkeit signifikant durch die Querschnitte der Stützen bestimmt. Somit kommen hier die höheren Querschnittswerte zum Tragen und beeinflussen die Verformung des Gesamttragwerks deutlich.

Festzuhalten bleibt, dass sich die Werte – wie erwartet – erhöht haben, wenn auch nur im unteren einstelligen Prozentbereich. Für die weiterführende Untersuchung stellt sich nun die Frage, ob der Mehraufwand der Stahlmasse durch Einsparungen bei der Umgestaltung der Anschlüsse kompensiert oder gar in der Summe verringert werden kann.

5 Anschlüsse

5.1 Anschlüsse bei Kesselgerüstkonstruktionen

Aus der im Kraftwerksbau für die Kesselgerüste bevorzugten Rahmen-Fachwerkkonstruktion wird die Struktur durch die Fachwerkstäbe und die Rahmenwirkung stabilisiert. Hierbei wird die Rahmenwirkung durch die Biegemomenten-tragfähige Anbindung der Riegel an die Stützen erreicht. In diesen Anschlusspunkt werden alle 6 Schnittgrößen übertragen.

Unverzichtbar für den Anschluss ist die Übertragung der Normalkräfte sowie der Querkräfte um die y- und z-Achse der Riegel. Eine konstruktive Vermeidung der Torsionsmomente in den Riegeln ist in soweit sinnvoll, dass der Riegelquerschnitt und der Anschluss zur Stütze nicht auf Torsion beansprucht wird und somit die Gestaltungsfreiheit und Variantenvielfalt in der Ausführung der Querschnitte und Anschlüsse erhöht werden kann. Ist eine Vermeidung dieser Torsionsmomente jedoch aus z.B. außermittigen Anschlüssen von Bühnenträgern nicht möglich, so müssen auch diese in die Stütze abgetragen werden. Das Moment um die z-Achse des Riegelquerschnittes ist für die Stabilisierung der horizontalen Riegelebenen nicht unmittelbar erforderlich, da dies überwiegend durch die Verbände der Fachwerkwände realisiert wird, jedoch steift es die Lage der einzelnen Fachwerkwände in der Gesamtkonstruktion gegeneinander zusätzlich aus. Zudem lässt sich hier auch aus konstruktiver Sichtweise ein Gelenk nur schwer umsetzen.

Somit bleibt einzig das Moment um die y-Achse des Riegelprofils, welches durch eine dementsprechende Gestaltung des statischen Systems, verzichtet werden kann.

Das sich in dem Riegel aufbauende Moment um die y-Achse resultiert aus Querlasten, die auf den Riegel wirken. Diese können zum Beispiel Nutzlasten, Rohrleitungslasten oder Eigenlasten von Anlagentechnik sein. Für die globale Struktur spielt die Gestaltung des Anschlusses eine untergeordnete Rolle, da die Stabilisierung der Konstruktion über das statisch bestimmte System des Dreiecks aus der Fachwerkscheibe gegeben ist. Die biegesteife Ausbildung des Riegelanschlusses bietet nur hinsichtlich der Verformung der Gesamtstruktur geringere Deformationen im Vergleich zu einem gelenkig verbundenen Fachwerkmodell. Zudem sind die Momentenextremwerte betragsmäßig geringer, was teilweise kompaktere Querschnitte ermöglicht.

Im Hinblick auf die Anschlüsse ist somit die Betrachtung mit dem Momentenfreiheitsgrad um die y-Achse interessant. Ausgehend vom allgemeinen Stahlbau sollte mit dem Freimachen des Anschlusses von der Übertragung der Momente um die lokale y-Achse eine einfachere Anschlussgestaltung, geringerer Materialeinsatz, ein reduzierter Fertigungsaufwand und weniger Verbindungsmittel zu erwarten sein.

5.2 Gestaltung und Wirkungsweisen von gelenkigen Anschlüssen

Die Entscheidung über die Ausführung eines Anschlusses fällt in der Phase der Erstellung der Tragstruktur. Zu diesem Zeitpunkt stehen selten die endgültigen Lasten und somit auch die Querschnitte fest. Aus diesem Grund geht das Modell von einer konstruktiven Gestaltung des Anschlusses aus, welcher nur die Schnittkräfte überträgt, die in der statischen Struktur vorgesehen sind.

Betrachtet man die Definition eines gelenkigen Anschlusses, so wird schnell deutlich, dass es nicht die eine feststehende Aussage gibt. Zudem sind immer auch die zu übertragenden Schnittgrößen zu betrachten, um eine Wertung vornehmen zu können. So können zum Beispiel Träger und Stützen gelenkig angeschlossen bzw. gelagert sein, jedoch mit einer jeweils vollkommen anderen Charakteristik der Schnittkräfte an den Anschlusspunkten. Bei Pendelstützen werden nur Normalkräfte übertragen, der Anschluss über eine bündige Fußplatte ist hier üblich. Sollten hier zusätzliche Querkkräfte abzutragen sein, so erfolgt das über Anker oder Schubknaggen. Dem gegenüber steht der gelenkige Trägeranschluss. Die hier hauptsächlich zu übertragenden Querkkräfte sind für die Dimensionierung maßgebend. Über Stirnplatten, Laschen, Winkel oder Knaggen können diese in die Stütze abgetragen werden. In beiden Fällen kommen Stirn- bzw. Kopfplatten zum Einsatz.

Im Allgemeinen werden über einen gelenkigen Anschluss nur Normal- und Querkkräfte übertragen. Es muss eine Verdrehung des Anschlussquerschnittes gewährleistet werden, um ungewollte Biegemomente im Anschlussbereich zu vermeiden. Ist in der Anschlussgestaltung abzusehen, dass eine Übertragung von Momenten möglich ist, so ist dieser Anschluss so weich auszuführen, dass es einem Gelenk gleich kommt (*vgl. /10/ Petersen, C., S. 657 ff.; 1988*).

Im Bezug auf die Kastenträger des Kesselgerüsts und der Ausbildung mit gelenkigem Anschluss wird dies dahingehend berücksichtigt, dass die Gurtbleche nicht bis zum Trägerende durchlaufen und somit nicht an die Stirnplatte angeschlossen werden. Der Querschnitt wird zum Anschlusspunkt hin eingezogen und wird quasi als liegender Doppel-T-Querschnitt angeschlossen, um den biegesteifen Anschluss um die z-Achse zu realisieren. Die Stirnplatte wird an diesen Restquerschnitt voll angeschlossen.

In Abhängigkeit der Beanspruchung wird die Stirnplatte dimensioniert, d.h. dass bei der Beanspruchung durch Querkkräfte geringe Stirnplattenhöhen angestrebt werden, um größtmögliche Verformbarkeit im Anschlusspunkt zu gewährleisten. Bei hohen Beanspruchungen durch Normalkräfte wird die Stirnplattengeometrie größer ausfallen, da hier Querkkräfte und somit Verformung eine untergeordnete Rolle spielen.

5.3 Anschlusssituation

Die Anschlüsse der Riegel des Kesselgerüsts wurden in 5 Typen untergliedert. Jeweils ein Anschluss wird exemplarisch für alle Anschlüsse dieser Typeneinteilung bemessen. Es

wurden Knotenpunkte mit den dementsprechenden Abmessungen der anschließenden Stäbe ausgewählt, welche einen Großteil der jeweiligen Anschlüsse widerspiegeln. Somit können auch Aussagen für Anschlüsse getroffen werden, selbst wenn sie in diesem Kapitel nicht detailliert dargestellt werden.

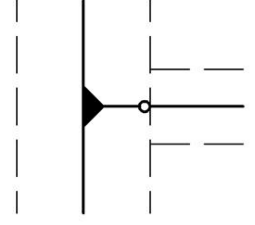
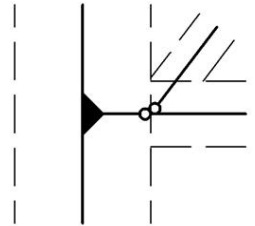
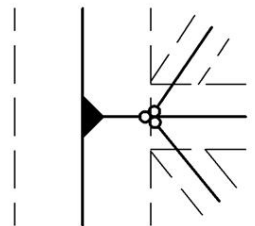
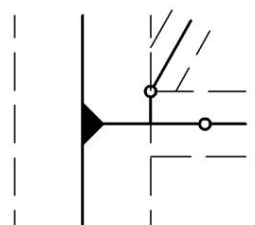
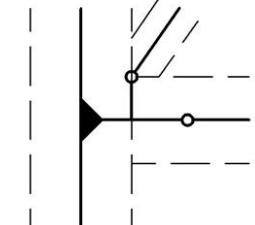
<p>Typ I</p> <p>Riegelanschluss an die Stütze, ohne anschließende Diagonale.</p>	
<p>Typ II</p> <p>Riegelanschluss an die Stütze mit einer Diagonale, welche von oben anschließt. Die Diagonale schließt am Schnittpunkt der Systemlinien des Riegels und der Außenkante der Stütze an.</p>	
<p>Typ III</p> <p>Riegelanschluss an die Stütze mit zwei anschließenden Diagonalen, jeweils eine von oben und eine von unten. Die Systemlinien des Riegels und der Diagonalen laufen auf der Außenkante der Stütze zusammen.</p>	
<p>Typ IV</p> <p>Riegelanschluss an die Stütze mit einer von Oben anschließenden Diagonale. Der Anschlusspunkt befindet sich im Wurzelpunkt zwischen Riegel und Stütze. Um den Riegelanschluss aufgrund der geometrischen Einschränkungen dennoch gelenkig ausbilden zu können, wurde der Anschlusspunkt von Außenkante Stütze in den Riegel hinein verschoben.</p>	
<p>Typ V</p> <p>Das statische Anschlussbild entspricht im Wesentlichen dem des Typ IV, nur mit dem Unterschied, dass die konstruktive Ausbildung des Diagonalenanschlusses aufgrund der hohen Normalkräfte als Stirnplattenstoß erfolgt.</p>	

Tabelle 5.3 – Übersicht Anschlusstypen

Die Riegel werden über Stirnplatten, welche mit den Stegblechen des Kastenträgers und einem horizontal eingeschweißten Blech im Kastenquerschnitt verschweißt sind, an die Stütze angeschlossen. Die Diagonalen schließen an dem Riegel mittels verschraubten Laschenblechen an. In den Anschlusstypen IV und V schließen die Diagonalen an die Stütze an, der Riegel schließt etwas vorgelagert an das Knotenblech an. Es besteht somit kein direkter Kontakt zwischen Diagonale und Riegel.

5.4 Bemessung der Knotenpunkte mit gelenkigen Anschlüssen um die y-Achse der Riegel

Die Anschlüsse mit allen Bauteilen werden, wie die Kastenquerschnitte, auch in S355 ausgeführt. In den folgenden Abschnitten wird die Bemessung der Anschlüsse allgemein beschrieben. Um die Bemessung der Anschlüsse detailliert mit Werten nachzuvollziehen, sind die Berechnungen unter Anlage D-I bis V ersichtlich. Die Ziffern in den eckigen Klammern [] der Berechnungen in der Anlage D weisen auf die Positionsnummer in den nebenstehenden Prinzipskizzen hin.

5.4.1 Riegelanschluss

Der Riegelanschluss erfolgt in den Anschlusstypen I bis III direkt an der Stützenaußenwand, bei den anderen beiden Typen wird der Riegel, aufgrund der Anordnung der Schnittpunkte der Systemlinien der anschließenden Stäbe mit der Außenwand der Stütze, in einem Abstand angeschlossen, um einen gelenkigen Riegelanschluss zu ermöglichen.

Wie unter Abs. 5.2 beschrieben, werden die Anschlussquerschnitte, soweit das möglich ist, zur Stirnplatte hin eingezogen, um dem Anspruch des statischen Gelenks um die y-Achse gerecht zu werden. Der sich hierbei ergebende Anschlussquerschnitt, welcher an die Stirnplatte angeschlossen wird, überträgt die Schnittgrößen zur Stütze hin und wird daher mit den Anschlussschnittgrößen nachgewiesen. Aufgrund der anschließenden Diagonalen, aus denen zusätzliche Normalkräfte in den Anschlussquerschnitt eingebracht werden, wird

eine Betrachtung zusätzlicher Schnitte an den Anschlussquerschnitten bzw. Riegelstegblechen notwendig. Da es sich um einen liegenden Doppel-T-Querschnitt handelt, werden die Spannungen der jeweiligen Querschnitte an den folgenden Stellen des Querschnittes mit den dazugehörigen Formeln ermittelt.

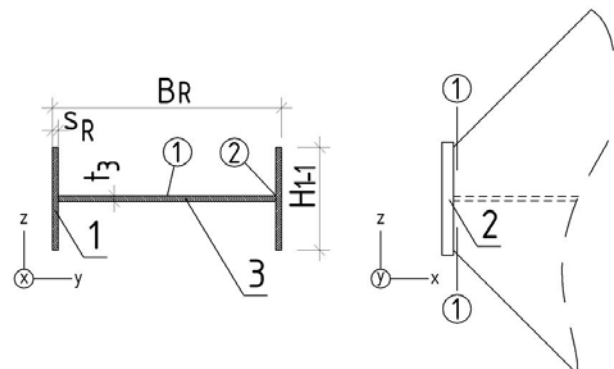


Abbildung 5.4.1-1 – Anschlussquerschnitt

Stelle 1

$$\sigma_{1,d} = \frac{N_d}{A_{\text{Gesamt}}}$$

$$\tau_{1,d} = \frac{V_y \cdot S_z}{I_z \cdot t_3}$$

$$\sigma_{V,1,d} = \sqrt{\sigma_{1,d}^2 + 3 \cdot \tau_{1,d}^2}$$

Stelle 2 (maßgebend für die Bemessung)

$$\sigma_{2,d} = \frac{N_d}{A_{\text{Gesamt}}} + \frac{M_z}{W_z}$$

$$\tau_{2,d} = \frac{(V_{y,d} \cdot (B_R - s_R) \cdot H_{1-1}) / 4}{I_z} + \frac{1,5 \cdot V_z}{H_{1-1} \cdot s_R \cdot 2} + \frac{1,5 \cdot V_{T,d}}{H_{1-1} \cdot s_R}$$

$$\sigma_{V,2,d} = \sqrt{\sigma_{2,d}^2 + 3 \cdot \tau_{2,d}^2}$$

Für nachgewiesene Profilschnitte, die nicht an der Stirnplatte angeschlossen sind, wird die Spannung für $\tau_{2,d}$ wie folgt ermittelt:

$$\tau_{2,d} = \frac{(V_{y,d} \cdot (B_R - s_R) \cdot H_{2-2}) / 4}{I_z} + \frac{(V_{z,d} + F_{z,d}) \cdot H_{2-2}^2}{8 \cdot I_y} + \frac{M_{T,d} \cdot w_M \cdot H_{2-2}}{4 \cdot I_\omega}$$

Der Anschlusspunkt wird als eine Gabellagerung angesehen, das aus den Anschlussschnittgrößen ersichtliche Torsionsmoment wird als Streckentorsionsmoment in der Ermittlung der anschlussrelevanten Torsionsmomente betrachtet. Aus dem (Strecken-) Torsionsmoment entsteht ein Primär- und ein Sekundär-Moment, welche an den Stabenden auftreten, wobei die Werte des sekundären Momentes für die Bemessung des Anschlusses maßgebend sind. Diese werden als Querkräfte V_T über die angeschlossenen Riegelstege übertragen.

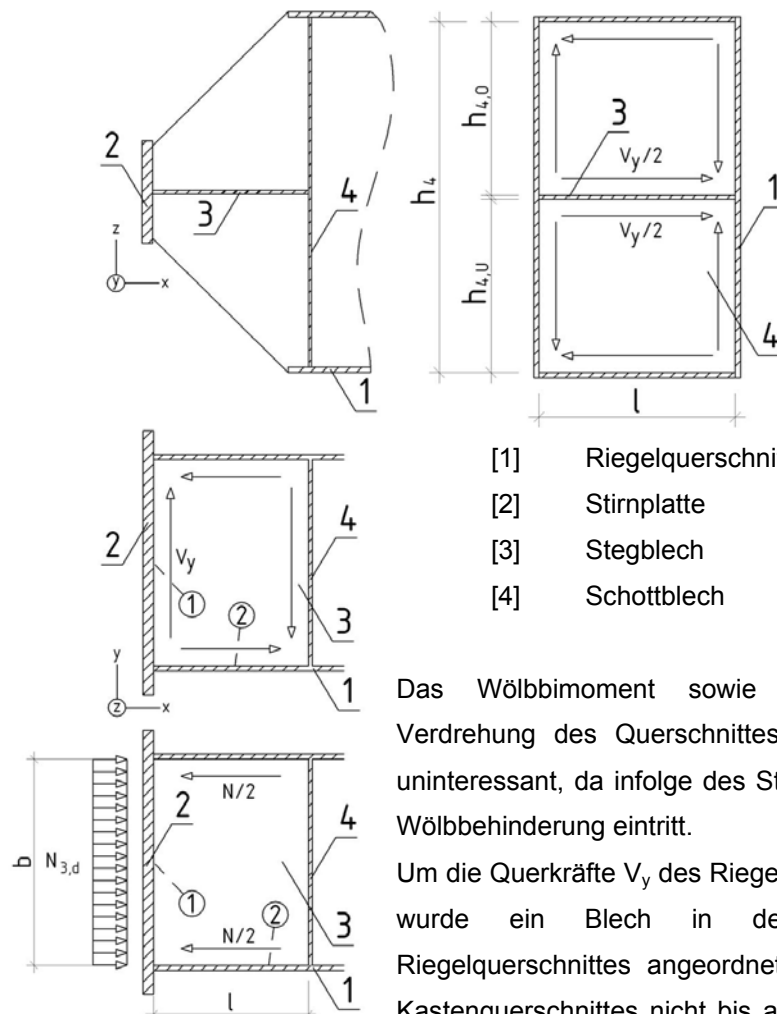


Abbildung 5.4.1-2 –
Anschlussbereich
des Riegels

- [1] Riegelquerschnitt
- [2] Stirnplatte
- [3] Stegblech
- [4] Schottblech

Das Wölbbimoment sowie die damit verbundene Verdrehung des Querschnittes sind für den Anschluss uninteressant, da infolge des Stirnplattenanschlusses eine Wölbbehinderung eintritt.

Um die Querkräfte V_y des Riegels in die Stütze einzuleiten, wurde ein Blech in der halben Höhe des Riegelquerschnittes angeordnet. Da die Gurtbleche des Kastenquerschnittes nicht bis an den Riegel herangeführt

Querkräfte aus V_z und V_T ab. Die äußeren Steifen [7] besitzen konstruktiven Charakter und wurden zur Bemessung des Anschlussquerschnittes nicht herangezogen. Die Normalkräfte werden in diesen beiden Situationen nur über den Querschnitt übertragen, welcher auch innerhalb der Stütze mit Steifen versehen ist. Somit werden in der Anschlussbemessung jeweils $H_{2,min}$ für den ausgesteiften Querschnitt (N , M_z) und H_2 bzw. $H_{2,gewählt}$ für die Gesamthöhe des Riegelanschlusses (V_z , V_y , V_T) im Berechnungsablauf in Erscheinung treten.

Die Schnittkräfte für die Bemessung des Anschlusses werden an folgenden Stellen je Anschlusstyp abgenommen.

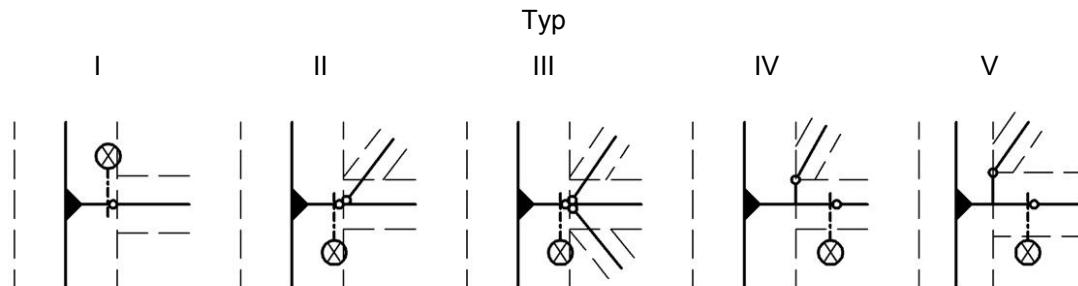


Abbildung 5.4.1-5 – Punkte der Schnittkräfte zur Anschlussbemessung

5.4.2 Diagonalenanschluss

Die Verbindungen zwischen den im Knotenbereich anschließenden Diagonalen werden bei den Typen I bis IV über Verbindungsbleche als jeweils zweischnittige Schraubenverbindung an den Stegen der Diagonalen ausgeführt. Bei dem Typ V wird aufgrund der enormen Druckkräfte in der Diagonale die Verbindung schlupffrei als Stirnplattenstoß ausgeführt. Die Gestaltung dieses Anschlusses folgt im Wesentlichen konstruktiven Ansprüchen, da die Druckkräfte zum überwiegenden Teil über Kontakt übertragen werden. Bei allen anderen Verbindungen sind die Schrauben gegen Abscheren nachzuweisen, hier kommen bevorzugt Schrauben der Dimension M27 und M30 zum Einsatz. Die Mindestabstände ergeben sich hier wie folgt:

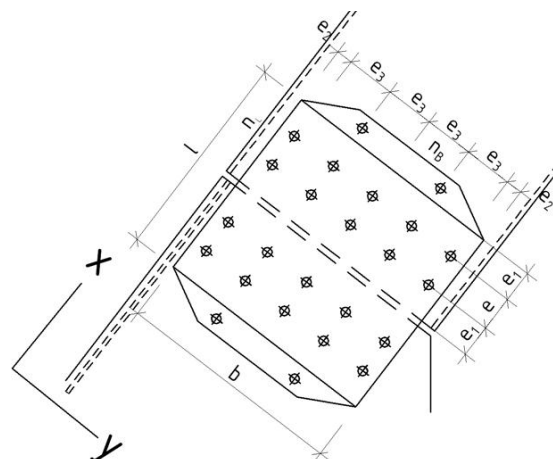
$$e_{min} = (d + \Delta d) \cdot 2,2$$

$$e_{1,min} = (d + \Delta d) \cdot 1,2$$

$$e_{2,min} = (d + \Delta d) \cdot 1,2$$

$$e_{3,min} = (d + \Delta d) \cdot 2,4$$

Abbildung 5.4.2 – Laschenanschluss der Diagonalstäbe



Die Schnittkräfte werden an dem jeweiligen Kontaktpunkt des Diagonalenanschlusses abgenommen.

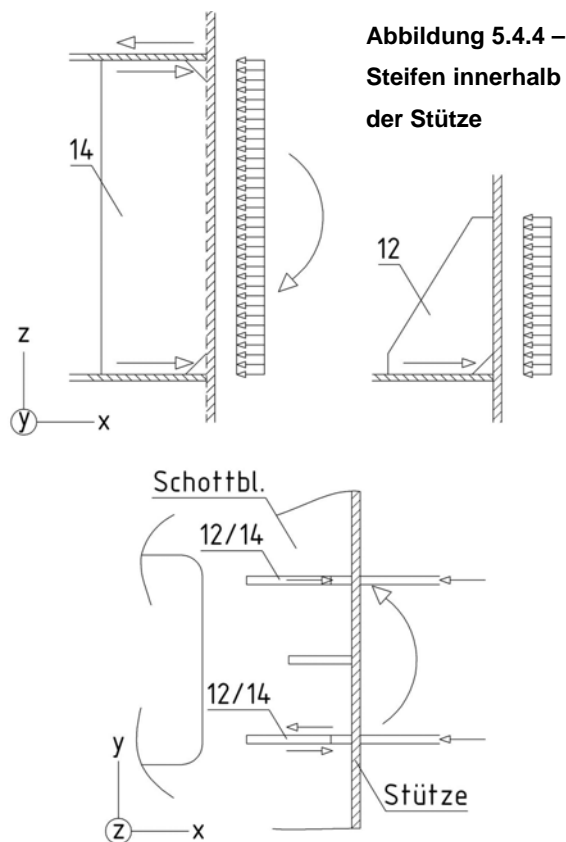
5.4.3 Anschlusspunkt bzw. -querschnitt an die Stütze

Bei den Anschlusstypen IV und V wird bedingt durch die Anordnung des Riegel- und Diagonalenanschlusses zwei von Außen an die Stützen angesetzte Knotenbleche notwendig, um die Riegel und Diagonalen anzuschließen. Aus statischer Hinsicht wird hier der Hebelarm zwischen Stützenmitte und dem bisherigen Anschlusspunkt an der Stützenwand um den Abstand von Stützenwand bis Anschlusspunkt Riegel verlängert. An die Knotenbleche schließt im oberen Bereich der Diagonalstab an. Hier werden bei dem Anschlusstyp V zusätzliche Steifen erforderlich, um die Normalkräfte der Diagonalen in die Knotenbleche einzuleiten. Der Riegelanschluss wird mittels Stirnplatte wie unter Abs. 5.4.1, an den Außenkanten der beiden Knotenbleche angeschlossen. Um die Querkraft aus dem Riegel weiterzuleiten, wird zwischen den Knotenblechen ebenfalls ein Blech eingesetzt. Die Abmessungen der Stirnplatte und des Bleches zum Ableiten der Querkraft des Riegelanschlusses werden beibehalten. Der Kontaktquerschnitt, welcher an die Stützenwand anschließt, wird entsprechend dem Abs. 5.4.1 nachgewiesen.

5.4.4 Steifen innerhalb der Stütze

Die Steifen dienen dazu, die Normalkräfte des Anschlusses aufzunehmen und in die Schottbleche einzuleiten. Bei den Anschlusstypen I bis III werden die Normalkräfte aufgenommen und auf das Schottblech abgetragen. Die Lasten für die Bemessung der Steifen [12] setzen sich hierbei aus den Normalkräften des Anschlusspunktes und den Kräften aus dem aufgelösten Moment um die Z-Achse des Riegels zusammen.

Bei den Typen IV und V sind die innenliegenden Steifen [14] zwischen zwei Schottblechen angeordnet. Zu den Normalkräften und den Kräften aus dem Moment um die z-Achse kommen hier noch die Kräfte aus dem anschlussbedingten Moment um die y-Achse des Anschlusspunktes. Die resultierenden Schnittgrößen werden über die Steife in die beiden Schottbleche abgetragen.



5.4.5 Verstärkungsbleche

In der Stütze werden in dem der vertikalen Schrauben zusätzliche Bleche mit der Stützenwand und dem Schottblech verschweißt, um die Einleitung von Zugkräften durch die Schrauben zu kompensieren und somit die Stützenwand zu entlasten. Die Abmessungen werden konstruktiv in Anlehnung an die Stirnplatte gewählt. Für die Anschlussstypen II und III werden die Verstärkungen über die gesamte Breite der Stützenwand angeordnet, um die konzentriert eingebrachten Querkkräfte in den Stützenquerschnitt einzuleiten. Die Gesamthöhe der Verstärkungsbleche entspricht der Höhe der Stirnplatte.

Bei den Anschlüssen bei denen die Bleche über die gesamte Stützenbreite angeordnet werden, werden die Verstärkungsbleche voll angeschlossen um die Querkkräfte abzutragen.

Die Schweißnähte an die Stützenwand selbst, werden konstruktiv ohne weiteren Nachweis, nach der Mindestnachtdicke bemessen.

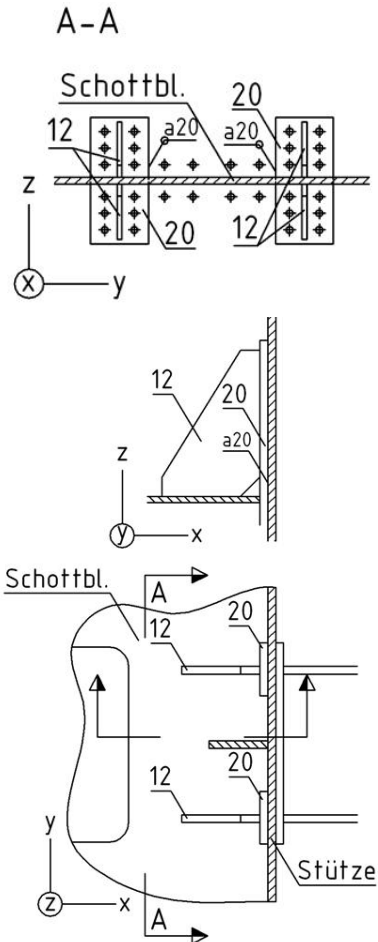


Abbildung 5.4.5-1 – Verstärkungsbleche des Typ I

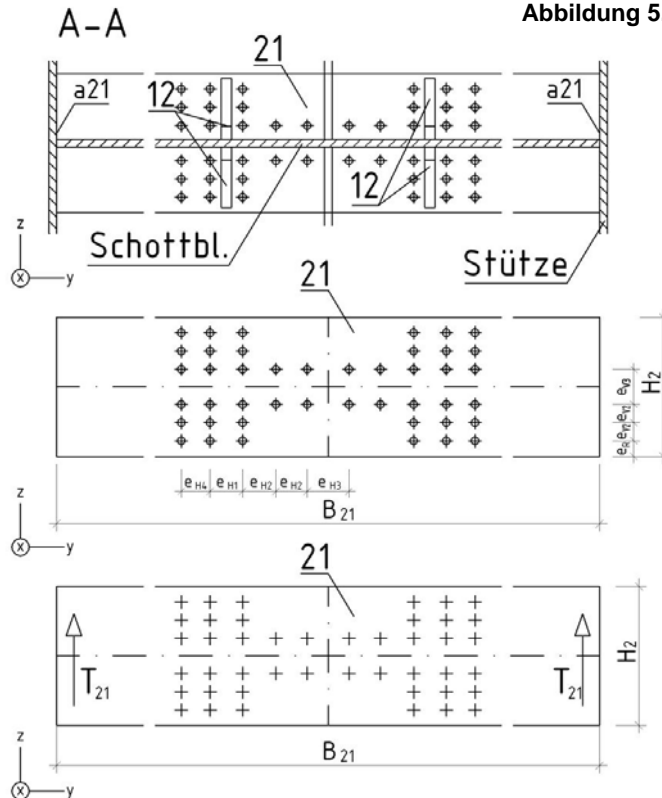


Abbildung 5.4.5-2 – Verstärkungsbleche der Typen II und III

$$T_{21} = \frac{V_{y,d}}{B_s} + \frac{V_{z,d}/2 + V_{T,d}}{H_{2,min}}$$

$$\tau_d = \frac{T_{21}}{t_{11} + t_s} = \frac{83 \text{ kN/cm}}{4 \text{ cm} + 3,2 \text{ cm}}$$

$$\tau_{w,d} = \frac{T_{21}}{a_{21}} = \frac{83 \text{ kN/cm}}{4 \text{ cm}}$$

Für den Querschnittabschnitt S4 wurde in Kapitel 4 bzw. der dazugehörigen Statik (Seite VII) in der Anlage G eine Schweißnahtstärke des Stützenquerschnittes von ermittelt. Diese Schweißnaht wird mit den Querkraften bemessen und gegebenenfalls angepasst bzw. erhöht.

5.4.6 Schottbleche

Die Schottbleche dienen dazu, die Normalkräfte, Querkraften in Y-Richtung, Momente um die Z-Achse des Riegels sowie teilweise Momente um die y-Achse des Anschlusses in die Stützenwände einzuleiten, von wo aus sie als Schubkräfte in die Fundamente abgetragen werden. Die Schottbleche erfahren je nach Anschluss Belastungen aus einem oder aus zwei Riegelanschlüssen. Um die Begehung der Stützen für die Montage (Fügen der Schraubenverbindungen) zu gewähren, sind bei dem Großteil der Schottbleche Mannlöcher in der Mitte mit den Abmaßen 800 mm x 800 mm vorgesehen. Für die Ermittlung der notwendigen Blechdicken werden verschieden Schnitte betrachtet.

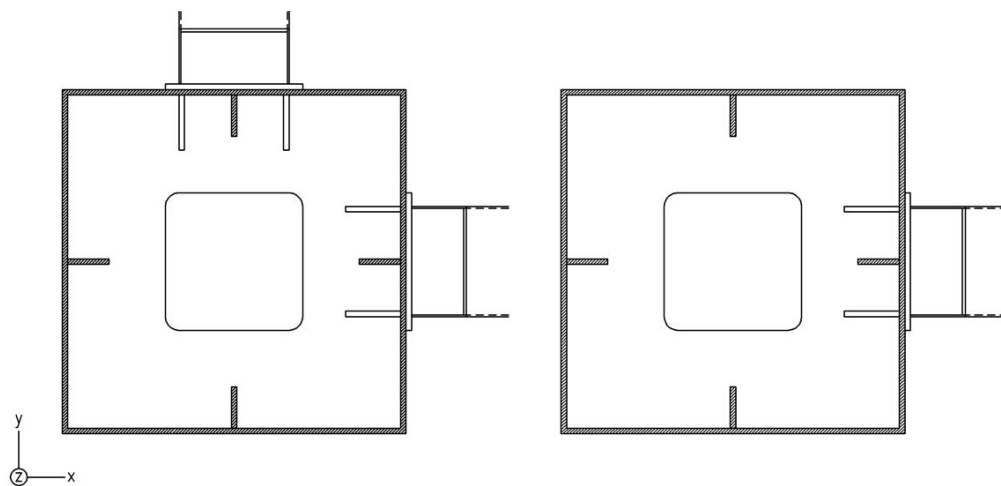


Abbildung 5.4.6 – Ansicht der Schottbleche in der Stütze

5.4.7 Schweißnähte

Alle in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Bestandteile des Anschlusses werden natürlich auch miteinander verbunden. Dies erfolgt über Schweißnähte, die bevorzugt als Kehlnähte auszuführen sind. Bei besonders massiv ausgeführten Blechen oder Querschnitten kann eine Ausführung als K- oder HV-Naht durchaus Vorteile bringen. Ausschlaggebend für die Ausführung der Schweißnähte sind in allererster Linie die Belange der Fertigung. Ist der Aufwand für die Nahtvorbereitung vertretbar, so bieten sich hier Vorteile im Bezug auf das Schweißnahtvolumen.

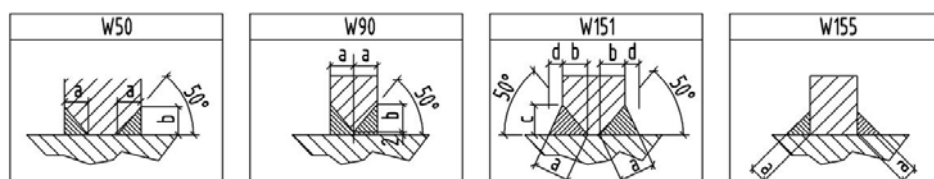


Abbildung 5.4.7 – Schweißnahtausführungen (siehe Anlage F)

5.5 Gegenüberstellung der vorhandenen Anschlussausführung des Kesselgerüsts Maasvlakte mit gelenkigen Anschlüssen

5.5.1 Typ I

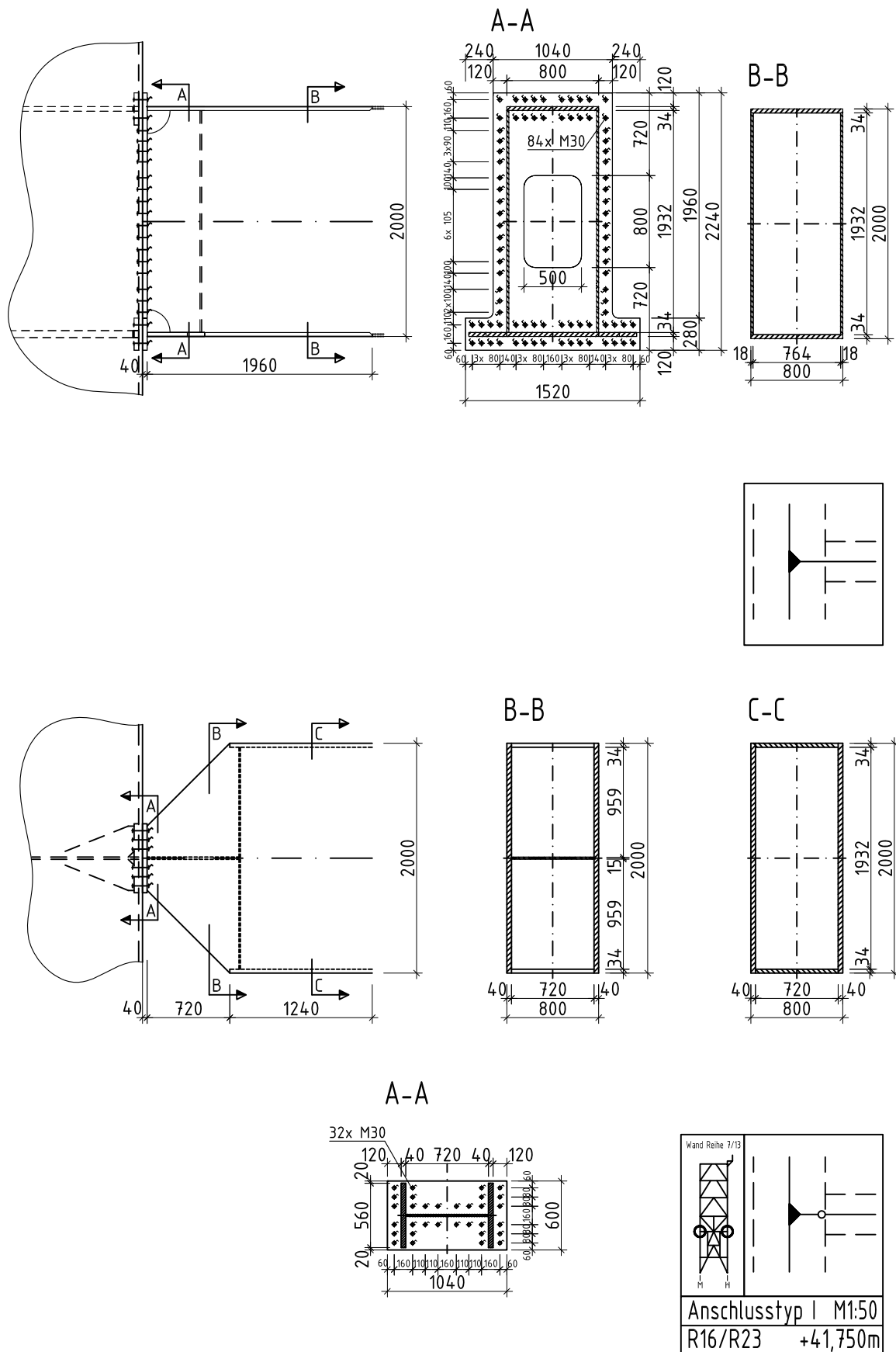
Ausgehend von einem voll angeschlossenen Kastenquerschnitt mittels einer Stirnplatte, wurde dieser Anschluss dahingehend aufgelöst, dass eine wesentlich geringere Anschlussfläche erforderlich ist.

Die für die um die y-Achse des Riegels gelenkige Ausführung des Anschlusses sind jeweils die Normalkräfte oder Querkkräfte die bemessungsrelevanten Größen. In dem Fall des betrachteten Riegelanschlusses R16/R23 sind die Normalkräfte die dominanten Schnittkräfte. Aufgrund der zumeist geringen Torsionsmomente aus den Riegelquerschnitten ist hier eine sehr kompakte Anschlussgestaltung möglich. Somit ist ein Eintrag von Biegemomenten aus dem Riegel in die Stütze rein aus den geometrischen Zwängen nicht bzw. nur sehr begrenzt möglich. Das entspricht dem statischen Modell dem um die y-Achse gelenkig angeschlossenen Riegel.

Eine Ausnahme bilden die Anschlusspunkte der Riegel R20/R27, hier sind sehr große Querkkräfte und Torsionsmomente in die Stütze einzuleiten. Diese Schnittkräfte resultieren aus den Vertikallasten der auflagernden Kesseldecke und den dazugehörigen Horizontallasten, welche an der Oberkante des Kastenquerschnitts angreifen und somit mit dem Hebelarm von $h/2$ - was hier einem Abstand von 1,9 m entspricht - ein Torsionsmoment in dem Querschnitt hervorruft. Hier ist aufgrund der erforderlichen Anschlusshöhe ein Eintrag von Biegemomenten in die Stütze sehr wahrscheinlich, was auch durch die erforderlichen Schottbleche in der Stütze ermöglicht wird. Aus diesem Grund scheint hier weiterhin ein Anschluss aller 6 Schnittgrößen durchaus sinnvoll.

Im Bezug auf den bemessenen Anschluss ist im Vergleich zu dem vorhandenen Anschluss festzustellen, dass die Wandstärken der Stegbleche größer dimensioniert sind. Die Stirnplatte ist im Gegensatz um ein vielfaches kleiner, was auf die geringere Anzahl der benötigten Verbindungsmittel zurückzuführen ist. Bei dem vorhandenen Anschluss werden die Verbindungsmittel in allererster Linie für den Anschluss der Flanschbleche des Riegels benötigt um das Biegemoment um die y-Achse des Riegels zu übertragen. Da diese Schnittgröße bei dem gelenkigen Anschluss entfällt, sind für die Bemessung der Verbindung andere Schnittgrößen maßgebend, was die erforderliche Anzahl der Schrauben zum Übertragen der maßgebenden Zug- und Querkkräfte deutlich reduziert. Zudem ist die Zugänglichkeit von der Riegelseite zum Einbringen der Schraubengarnituren im Hinblick auf die innenliegenden Schrauben deutlich einfacher. Die Handöffnungen stellen zwar keine fertigungstechnische Herausforderung dar, bieten jedoch beim Fügen der Verbindungen und den damit verbundenen Verfahrensvorgängen mit dem Hubbühnen eine geringe Erleichterung. Das in beiden Fällen die Verbindungsmittel von Innen in der Stütze gefügt werden müssen, ist hier unumgänglich. Jedoch ist die Aufenthaltszeit des Monteurs bei der gelenkigen

Ausführung aufgrund der geringeren Schraubenanzahl deutlich kürzer. Im Hinblick auf die zur Krafteinleitung erforderlichen Schottbleche in den Stützen ist die gelenkige Ausführung schon durch die Quantität unabhängig von der Dimension der erforderlichen Bleche vorteilhaft, da hier nicht das Biegemoment in der Stütze in ein Kräftepaar aufgelöst werden muss und somit eine Position bzw. ein Bauteil komplett entfällt. Der Aufwand der innenliegenden Stirnplatten in der biegesteifen Ausführung ist in etwa mit den in der gelenkigen Version notwendigen Steifen vergleichbar.



5.5.2 Typ II

Die Lage der Schwerelinie der Diagonale wurde beim Vergleich der beiden Ausführungsvarianten dahingehend verändert, dass die ursprüngliche Lage des biegesteifen Anschlusses dahingehend verschoben wurde, dass der Schnittpunkt der Schwerpunktlinie der Diagonale nicht mehr im Wurzelpunkt zwischen Riegeloberkante und Stützenaußenkante liegt, sondern im Schnittpunkt der Schwerpunktlinie des Riegels mit der Außenkante der Stütze. Dies wurde bei all diesen Anschlüssen gewählt, bei denen keine signifikante Beeinträchtigung der Anlagentechnik zu verzeichnen ist. Das bedeutet, dass bei dem Großteil der Riegelanschlüsse mit von oben anschließender Diagonale diese Veränderung der Systemlinien durchgeführt wurde. Somit kann die Anschlusshöhe an die Stütze gedrungener ausgeführt werden, was dem Anspruch eines statischen Gelenks entspricht.

Die maßgebenden Schnittgrößen für die Bemessung des um die Y-Achse gelenkigen Riegelanschlusses sind die Querkräfte. Zusätzlich besitzen die Normalkräfte in der Bemessungssituation hohe Werte. Dies bedeutet für den Anschluss, dass die Verbindungsmittel der Interaktion dieser beiden Schnittgrößen standhalten müssen. Um kompakte Abmessungen der Anschlussstirnplatte zu ermöglichen ist die verhältnismäßig große Anzahl Schrauben geringer Dimension gewählt worden. Der Anschlussquerschnitt ist im Vergleich zu dem momententragfähigen Anschluss um die y-Achse wesentlich massiver ausgeführt, die Abmessungen des Kastenquerschnittes selbst sind weitestgehend identisch. Dies trifft ebenso auf den Diagonalenquerschnitt sowie die dazugehörigen Schrauben und Verbindungsblechen. Somit bleibt hier festzuhalten, dass keine klaren Unterschiede im Bezug auf die Verbindungsmittel zu verzeichnen sind. Hinsichtlich der Zugänglichkeit für das Einbringen der Verbindungsmittel bietet die gelenkige Ausführung ähnlich gute Voraussetzungen wie der Typ I, jedoch mit dem Manko, dass die Zugänglichkeit zu den oberen innenliegenden Schrauben durch den Diagonalenanschluss und den daraus resultierenden konstruktiven Zwängen eingeschränkt ist. Im Hinblick auf die in den Stützen notwendigen Schottbleche entspricht die Situation im Wesentlichen der unter 5.5.1 beschriebenen Situation.

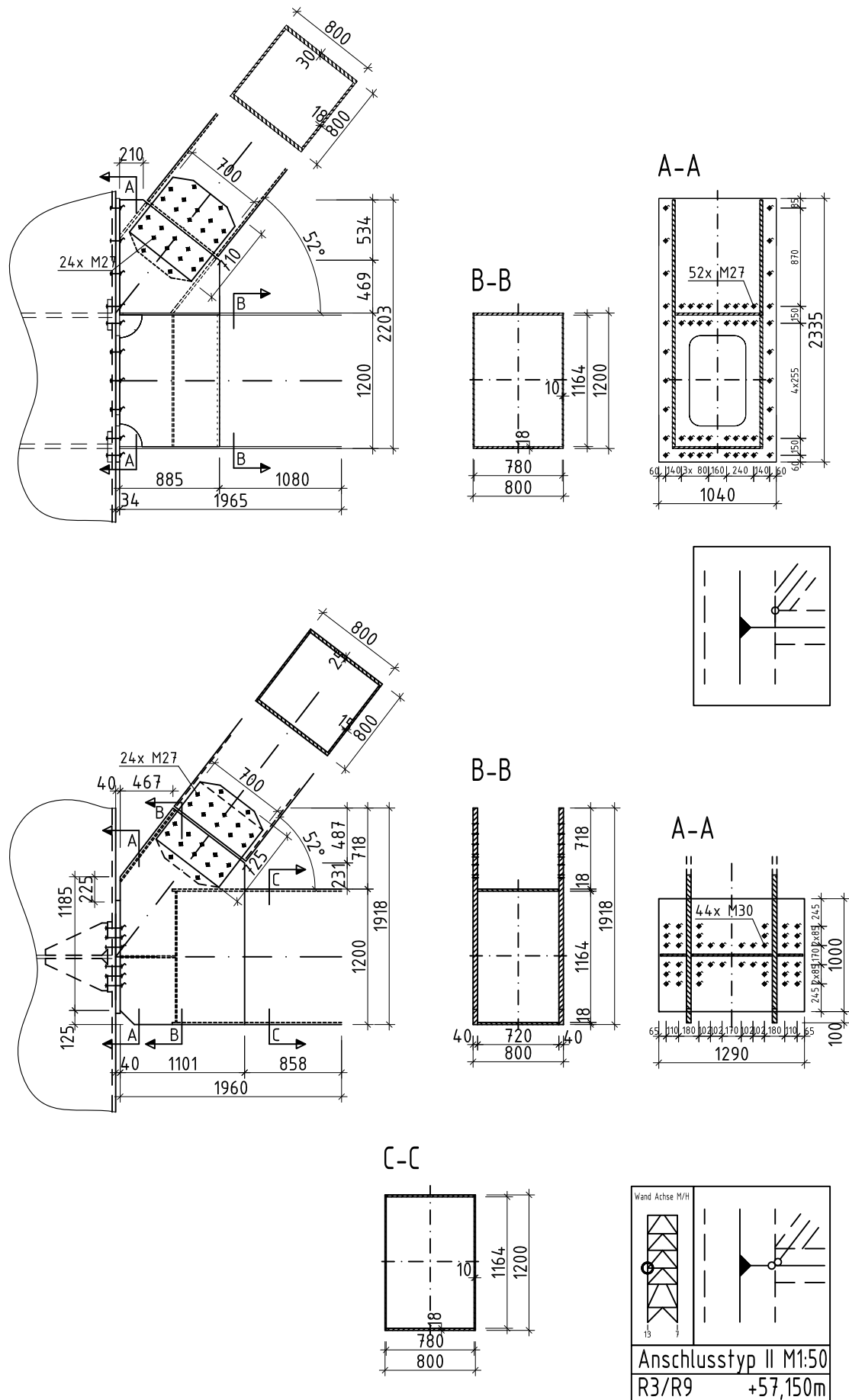


Abbildung 5.5.2 – Gegenüberstellung Anschlusstyp II

5.5.3 Typ III

Wie im Typ II, so wurden auch hier die Systemlinien ausgehend von der biegesteifen Anschlussgestaltung dahingehend verändert, dass sie von den Wurzelpunkten zwischen Riegel und Stütze in den Schnittpunkt zwischen Stützenaußenkante und Schwerelinie des Riegels verschoben wurden, um kleinere Anschlussabmessungen zu ermöglichen. Die für die Bemessung des Anschlusses ausschlaggebenden Schnittgrößen sind die Querkkräfte. Die Normalkräfte werden weitestgehend in die Diagonalen und Riegel umgelenkt, so dass sie für den Anschluss zur Stütze hin eine untergeordnete Rolle spielen. Die untere Diagonale ist nur auf Druck beansprucht, der Riegel nur auf Zug. Die oben anschließende Diagonale weist Normalkräfte auf, welche als Zug- oder Druckkräfte wirken können. Somit wurden in der Bemessung beide Wirkrichtungen betrachtet und in der jeweils maßgebenden Konfiguration nachgewiesen. Wie bei den vorangegangenen Anschlusstyp so sind auch hier die Diagonalenabmessungen und der damit verbundene Aufwand an Verbindungsmitteln annähernd identisch. Der Anschlussquerschnitt ist bei der gelenkigen Ausführung wesentlich kleiner als bei der biegesteifen Variante, die dazugehörigen Wandstärken sind ähnlich. Ebenso ist der Materialbedarf für die Riegelstege im Anschlussbereich ähnlich. Die Unterschiede zwischen biegesteifer und gelenkiger Ausführung liegen klar in der Dimensionierung der Stirnplatten mit den dazugehörigen Verbindungsmitteln und den Aussteifungen in der Stütze. Hier ist ebenso eine Verringerung der Anzahl der benötigten Schottbleche zu verzeichnen.



5.5.4 Typ IV

Der Anschluss der Riegel R18/R25 an die Stütze als momenten-tragfähiger Anschluss um die y-Achse des Riegels ist im wesentlichen gekennzeichnet von der Einleitung des Biegemomentes sowie der Querkraft und Normalkraft in die Stütze. Das Biegemoment wird in der Stütze von zwei Schottblechen in ein Kräftepaar zerlegt und in den Kastenquerschnitt der Stütze abgetragen. Wie bei der Ausführung dieses Anschlusses, ist eine Veränderung der Systemlinien der Diagonalen nicht möglich, da in diesen Bereichen die Anordnung der Anlagentechnik keinen Spielraum für eine Anpassung der Lage der Diagonalen zulässt. Somit schneidet die Schwerpunktlinie der Diagonale im Wurzelpunkt zwischen Riegeloberkante und Stützenaußenkante. Da aus dieser Anschlusssituation heraus die Ausbildung eines gelenkigen Anschlusses aufgrund der sich konstruktiv ergebenden Anschlusshöhe schwierig ist, wurde der Anschlusspunkt des Riegels von der Außenkante weg in den Riegelquerschnitt hinein verschoben. Somit wird der Abstand und damit auch der Hebel zwischen Riegelanschluss und Schwerelinie der Stütze größer, was sich in einem Anschlussmoment an der Stützenaußenkante niederschlägt. Die Lage des Diagonalenanschlusses bleibt unverändert, was ebenso für die Anschluss- und Querschnittgeometrie in diesem Bereich zutrifft. Das Knotenblech an dem Riegel und Diagonale anschließen, entspricht somit quasi einem Kragarm, welcher an die Außenwand der Stütze angeschlossen ist. Der Riegelanschluss fällt aufgrund der hier zu übertragenden großen Normalkräfte und Torsionsmomente sehr massiv aus. Die großen Dimensionen der Stirnplatte lassen einen Anschluss als Gelenk wenig wahrscheinlich scheinen. Doch da hier die Normalkräfte die maßgebenden Schnittgrößen darstellen, ist diese Anschlussgestaltung durchaus vertretbar. Der Anschlussquerschnitt des Riegels weist aufgrund der bereits erwähnten zu übertragenden Torsionsmomente sehr große Materialdicken auf. In dem vorhandenen biegesteif ausgeführten Querschnitt kann auf Blechdicken dieser Dimension verzichtet werden, da der geschlossene Kastenquerschnitt bis zur Stütze geführt und komplett angeschlossen wird. Vergleicht man nun den Anschlussquerschnitt der beiden Anschlüsse zur Stütze hin, so ist festzustellen, dass hier ähnliche Abmessungen zu erkennen sind. In Anbetracht der benötigten Schrauben stellt die Ausführung mit dem gelenkigen Riegelanschluss die günstigere Variante dar. Dies beruht im wesentlichen auf den kompakteren Anschluss sowie der geschweißten Verbindung der Knotenbleche zur Stütze hin. Die erforderlichen Schottbleche im Inneren der Stütze sind identisch. In der Ausführung des biegesteifen Riegelanschlusses sind die Schottbleche in der Weiterführung der Riegelflansche angeordnet, um das Biegemoment aufzunehmen. Bei dem gelenkigen Riegelanschluss muss das Anschlussmoment ebenfalls von zwei Schottblechen aufgenommen werden. Hierbei ist der Abstand der Schottbleche zueinander jedoch weiter gefasst, was die statisch erforderliche Wandstärke reduziert. Sie werden in Höhe der Oberkante des Knotenblechs und auf Höhe der Schwerpunktlinie des Riegels angeordnet. Zudem werden in dieser Ausführung Steifen erforderlich, um das Moment in die Schottbleche einzuleiten. Bei diesem Anschluss ist für das Fügen der Schraubenverbindung

keine Begehung der Stütze erforderlich, was jedoch mit größeren Aufwendungen hinsichtlich der Steifen im Inneren aufgewogen wird.

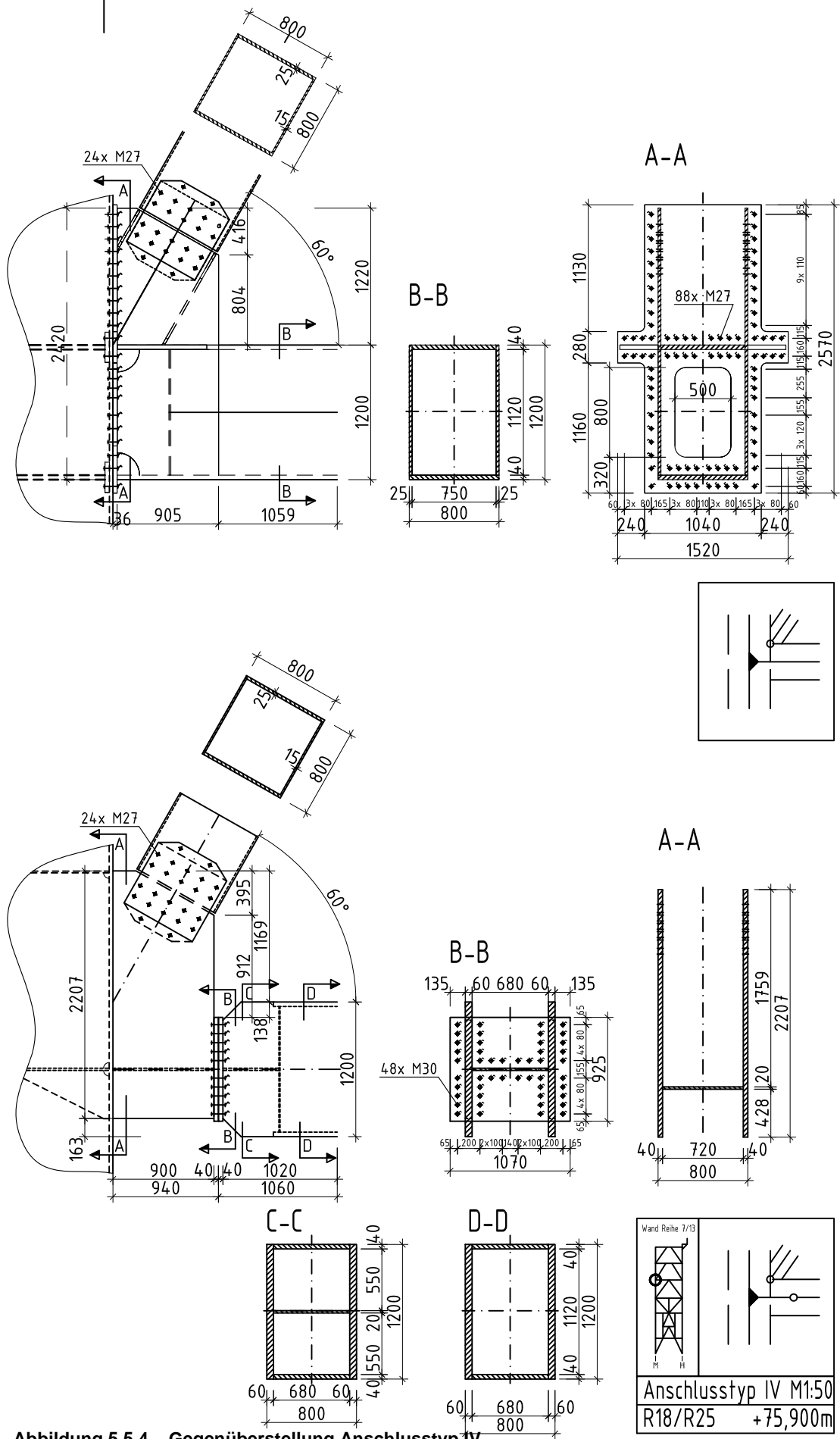


Abbildung 5.5.4 – Gegenüberstellung Anschlussstyp IV

5.5.5 Typ V

Der Anschlusstyp V entspricht dem statischen System des Typ IV. Ebenso ist hier die Gestaltung des Riegelanschlusses ausgeführt. Die Systemlinien der Riegel und Diagonale bleiben unverändert. Die Anschluss- und Querschnittsdimension des Riegels ist hier im Vergleich zu den verwendeten Blechstärken des Typ IV geringer, da die maßgebende Schnittkraft nur die Normalkraft ist. Die Querkräfte und Torsionsmomente sind bei diesem Typ im Vergleich zu den Normalkräften sehr gering und besitzen somit nur geringen Einfluss auf die erforderlichen Abmessungen des Querschnitts. Der Kastenquerschnitt des Riegels ist aufgrund des statischen Systems bei der gelenkigen Ausführung massiver ausgeführt als bei der Ausführung mit momenten-tragfähigem Anschluss. Der Anschluss der Diagonale an das Knotenblech wird hier aufgrund der enormen Normalkräfte, welche aus den hohen Lasten der Kesseldecke resultieren, als Stirnplattenstoß ausgeführt. Über zusätzliche Steifen wird die Druckkraft in die Knotenbleche eingeleitet. Die Ausführung ist bei beiden Anschlüssen nahezu identisch. Aufgrund der reinen Druckbelastung besitzen die Schrauben eher konstruktiven Charakter und dienen der Lagesicherung. Somit sind aus dem Vergleich der Diagonalenanschlüsse keine Unterschiede ersichtlich. Die Riegelflansche sind bei dem biegesteifen Riegelanschluss mit einer Verbreiterung im Anschlussbereich versehen, um genügend Platz für die Schraubenverbindungen zu besitzen. Die Stirnplatte mit den Verbindungsmitteln ist gekennzeichnet von der Einleitung der Biegemomente in die Stütze sowie das Abtragen der Querkräfte. Die Anschlussquerschnitte der Knotenbleche besitzen annähernd gleiche Abmessungen, wobei die Blechdicken bei der biegesteifen Variante deutlich größere Werte aufweisen als bei der gelenkigen Ausführung. Bei beiden Anschlüssen sind Steifen für den Eintrag der Momente in die Stütze notwendig. Ebenso sind bei beiden Varianten 3 Schottbleche angeordnet, wobei jeweils 2 das Biegemoment auflösen und das dritte eher konstruktiv angeordnet ist, um die Steifen anzuschließen oder anteilige Normalkräfte in die Stütze einzuleiten.



6 Auswertung der Anschlüsse

In diesem Kapitel werden die Anschlüsse gegeneinander verglichen. Dies geschieht mit verschiedenen Auswertungsgrößen, welche den gesamten Wertschöpfungsverlauf der Anschlüsse widerspiegeln. Die Ergebnisse sollen in erster Linie eine Aussage der Anschlussvarianten zueinander ermöglichen; somit werden alle Bauteile des Anschlusses bzw. die durch den Anschluss erforderlich werden, als eine Baugruppe betrachtet, was im Normalfall nicht der Realität entspricht. Für gewöhnlich sind die Bauteile, die hier in die Auswertung einbezogen werden, den jeweiligen Baugruppen der Stützen, Riegel oder Diagonalen zugewiesen. Hier werden die für den Anschluss notwendigen Bauteile zusammengefasst und ausgewertet.

6.1 Wichtung der Vergleichsgrößen

Die ermittelten Vergleichsgrößen der gelenkigen Anschlüsse um die y-Achse des Riegels werden im Hinblick auf die jeweiligen Ergebnisse und den damit verbundenen Kosten mit den biegesteifen Anschlüssen des Kesselgerüsts Maasvlakte verglichen. Für die Auswertung der Anschlüsse wird nur der Riegel mit den dazugehörigen Steifen und Schottblechen nach dem Verursacher-Prinzip betrachtet, d.h. dass alle durch den Riegelanschluss erforderlichen Positionen in den Vergleich mit eingehen. Die Diagonalenanschlüsse bleiben unabhängig von dem Riegelanschluss annähernd ähnlich. Somit werden in diesem Bereich keine signifikanten Differenzen zwischen diesen beiden Anschlussarten zu verzeichnen sein. Die Auswertung der Riegel erfolgt von Außenkante Stütze bis 2 m in den Riegel hinein. In den Stützen werden nur die Steifen, Verstärkungsbleche und Schottbleche in die Betrachtung mit einbezogen, die durch den Riegelanschluss verursacht werden. Zusätzlich vorhandene Bleche werden in der Auswertung ausgeblendet.

Über die Wichtung der nachfolgend aufgeführten Auswertungsgrößen entscheiden letztendlich die jeweiligen Kosten je Auswertungsgröße. Im Bezug auf die Kosten werden nur die unmittelbaren Kosten aus Beschaffung und Verarbeitung betrachtet. Zudem werden die Materialgemeinkosten in der Betrachtung berücksichtigt. Verwaltungs- und Vertriebskosten werden nicht berücksichtigt. Da es sich bei den Anschlüssen nur um einen herausgelösten Teil einer größeren Struktur handelt, ist dies nicht klar zuzuweisen und würde somit nur den Kostenvergleich verfälschen.

Die Anschlüsse wurden anhand der folgend aufgelisteten Kostenstellen verglichen. Die detaillierte Ermittlung der Fertigungszeiten ist in Anlage E ersichtlich. Für die Verbindungsmittel wird ein gemittelter Wert bezogen auf die Tonne Stahl angesetzt.

- Technisches Büro
- Materialaufwand
- Fertigungsaufwand
- Korrosionsschutz
- Montage

6.2 Masse

Die benötigte Stahlmasse zur Herstellung dieser Knotenpunkte von Stütze, Riegel und Diagonale stellt die zweitgrößte Kostenposition dar (siehe Abs. 6.6). Das sich hier darstellende Bild der benötigten Stahlmassen je Anschluss ist sehr differenziert. So sind bei dem Riegelanschluss ohne Diagonale (Typ I) große Materialeinsparungen möglich. Bei den weiteren Knotenpunkten (Typ II – IV), an denen Riegel und Diagonale an die Stütze herangeführt werden, sind identische bzw. höhere Massen für die Ausbildung des Anschlusses notwendig. Der Anschlusstyp V weist abweichend von dieser Tendenz geringere Stahlmassen auf. Die hier ermittelten Massen lassen somit keine allgemeingültige Aussage über die Massen bezogen auf die Anschlussgestaltung zu, weisen aber im Hinblick auf die Gesamtkonstruktion günstigere Werte für die biegesteif angeschlossene Variante auf.

Typ	Werkstoffe S355 [t]	
	MPP-B (Gelenk)	MPP-A (Biegesteif)
I	4,58	8,15
II	3,70	3,67
III	6,78	5,73
IV	7,40	5,68
V	11,47	14,19

Tabelle 6.2 – Stahlmasse

6.3 Fertigungsaufwand

Ein Anschlussbereich eines Riegels beträgt rund 1/5 an dem Gesamtaufwand des Zusammenbaus eines kompletten Riegels. In die Ermittlung der Fertigungszeiten flossen die einzelnen Zeiten für den Zusammenbau, Transport, Schweißarbeiten, Nahtvorbereitung, Vorwärmen, Kantenbearbeitung und das Herstellen der Bohrungen ein. Die Bohrungen sind für gewöhnlich dem Zuschnitt zuzuweisen, was jedoch im Hinblick auf die Anzahl der Bohrungen der zu vergleichenden Anschlüsse eines der Unterscheidungsmerkmale darstellt und somit dem Fertigungsaufwand zugeordnet wird. Weiterhin wurden das Planfräsen der Stirnfläche sowie diverse Zu- und Abschlüsse für die Fertigung berücksichtigt. Aus der nachfolgenden Tabelle ist ersichtlich, dass die Anschlusstypen, deren Systemlinien der Diagonalen sich im Anschlusspunkt treffen, günstigere Werte hinsichtlich des Arbeitseinsatzes und der bezogenen Arbeitsleistung je Tonne verarbeiteter Stahl aufweisen.

Typ	Arbeitsstunden [h]		Stunden je Tonne [h/t]	
	MPP-B	MPP-A	MPP-B	MPP-A
I	42,0	99,1	9,10	12,17
II	64,9	80,3	17,55	21,90
III	81,1	110,7	11,95	19,32
IV	106,2	89,6	14,35	15,76
V	151,1	187,0	13,18	13,18

Tabelle 6.3-1 – Fertigungsaufwand

Die Anschlussstypen, bei denen die Systemlinien der Diagonalen sich im Wurzelpunkt zwischen Riegel und Stütze treffen, zeigen differenziertere Ergebnisse auf. So ist bei dem Typ IV eine deutlich höhere Arbeitsleistung aber ein – wenn auch nur begrenzt – geringerer Arbeitsaufwand je Tonne Stahl zu verzeichnen. Betrachtet man den Anschlusstyp V, so erkennt man einen deutlich geringeren Arbeitseinsatz im Vergleich zu einem um die y-Achse momenten-tragfähigen Riegelanschluss. Jedoch wird hier aufgrund der geringer verarbeitete Stahlmasse nur ein identischer Wert der Arbeitszeit je Tonne im Vergleich zu den biegesteifen Anschluss eintreten.

Die Zusammenbauzeiten stehen im Zusammenhang mit den benötigten Bauteilen für den Anschluss. Hier ergeben sich geringere Zeiten bei den Anschlüssen, wo Positionen eingespart oder in ihrer Dimension verringert werden können.

Typ	Zusammenbau [h]		Schweißzeiten [h]	
	MPP-B	MPP-A	MPP-B	MPP-A
I	10,7	12,8	16,5	49,5
II	12,6	14,5	25,5	20,4
III	12,3	15,5	40,0	44,1
IV	17,7	13,7	47,1	30,0
V	28,0	21,4	78,9	97,8

Tabelle 6.3-2 – Zusammenbau- und Schweißzeiten

Die Schweißzeit liefert die für die Fertigungszeit maßgeblichen Werte und bestimmt zum Teil auch die Zeiten für Nahtvorbereitung und Vorwärmen. Für die Schweißarbeiten ist der größte Arbeitseinsatz zu leisten. Ähnlich zu den Zusammenbauzeiten, so ist auch hier der Einfluss der geringeren Anzahl von Bauteilen erkennbar.

Bei den aufwändigeren Anschlüssen im oberen Bereich des Kesselgerüsts ist kein klarer Trend festzustellen. Bei dem Anschlusstyp IV ist der Aufwand 1/3 höher, bei Anschlusstyp V ist der Aufwand 1/3 geringer im Vergleich zu dem jeweiligen biegesteif angeschlossenen Pendant.

6.4 Konservierung

Der Aufwand für die Konservierung ist bei beiden Anschlussvarianten ähnlich hoch. Dies ist auf die beengte Bauteilanordnung im Anschlussbereich und der damit verbundenen Handarbeit zurückzuführen. Der Farbauftrag mit der damit verbundenen Arbeitsleistung sowie der Aufwand für das Nachstrahlen sind hier mit einzubeziehen. Die Flächen, welche mit Korrosionsschutz zu versehen sind, liegen bei den gelenkig ausgeführten Riegelanschlüssen tendenziell 21 bis 28 % unter denen der vergleichbaren biegesteif angeschlossenen Riegel. Abweichend davon stellt sich der Typ V mit nur 7 % dar.

Typ	Flächen [m²]	
	MPP-B	MPP-A
I	14,8	20,3
II	14,7	19,8
III	17,0	23,9
IV	17,5	22,3
V	28,9	31,0

Tabelle 6.4 – Korrosionsschutzflächen

6.5 Montageaufwand

Die Unterschiede in der Montage der Riegel mit gelenkigen oder biegesteifen Anschluss liegen in der Zugänglichkeit der Bohrungen sowie der Anzahl der zu fügenden Schrauben und der damit verbundene Zeitaufwand. So sind hier die Arbeitszeit zum Einbringen der Verbindungsmittel und die damit verbundene Hakenzeit die variablen Größen. Die Hakenzeit beschreibt die Dauer der durch die Montage in Anspruch genommenen Hubgeräte und Hebezeuge. Besonders im Hinblick auf die Montagegeschwindigkeit bzw. –fortschritt ist dies zu berücksichtigen.

Typ	Verbindungsmittel [n]	
	MPP-B	MPP-A
I	32	84
II	92	100
III	168	212
IV	96	136
V	72	132

**Tabelle 6.5 –
Montageaufwand**

Die reinen Montagezeiten infolge der Anzahl der Verbindungsmittel liegen ausnahmslos zu Gunsten der gelenkig angeschlossenen Riegel. Die benötigten Zeiten für die Verfahrensvorgänge zum Erreichen der Fügestellen werden hier nicht wiedergespiegelt. Da dieser Wert von vielen Variablen bestimmt wird, wie z.B. Zugänglichkeit, Montagehilfsmittel, Anzahl der Monteure usw., ist dies nicht klar in Zahlen wiederzugeben. Jedoch ist die kompakte Anordnung der Schrauben bei den gelenkigen Anschlüssen sicherlich nicht nachteilig.

6.6 Zusammensetzung der Herstellungskosten

Wie zu Beginn dieses Kapitels erwähnt, sind die Anteile der verschiedenen Wertschöpfungsprozesse mit den jeweilig dazugehörenden Kosten ausschlaggebend für eine Bewertung des Einflusses der einzelnen Größen. Um dies darzustellen wurde der Anschlusstyp II, der am häufigsten in dem Kesselgerüst auftritt, mit dem im Stahlbau üblichen Kalkulationsablauf ausgewertet. Dies wurde jeweils für die Variante gelenkig (MPP-B) sowie momenten-tragfähig (MPP-A) angeschlossen um die y-Achse des Riegelquerschnitts untersucht. Die Auswertung erfolgt nur für den Anschlussbereich, welcher unter Abs. 6.1 umrissen wurde.

Für beide Anschlüsse wurde ein identischer Aufwand für das Technische Büro (TB) vorangestellt, um den Anteil bzw. Aufwand der Konstruktionsleistung darzustellen. Die Materialpreise wurden mit dem Stand vom 20.11.2009 auf die einzelnen Positionen bezogen, berücksichtigt. Hierzu wurden noch Materialgemeinkosten und Lageraufwand mit eingerechnet. Die Fertigungsleistungen wurden anhand der gängigen Einheitspreise von im Kraftwerksbau tätigen Stahlbauunternehmen ausgewertet. Die Kosten für den Korrosionsschutz wurden für 2 Beschichtungen mit jeweils 80 µm und dem im Anschlussbereich notwendigen Handbeschichtungen ermittelt.

Die Zusammensetzung der Herstellungskosten stellt sich wie folgt dar:

	MPP-A [€]	MPP-B [€]
Technisches Büro Zuschlag Leitung		
TB	269	269
Stahl VBM Lagerzuschlag Verschnitt Materialgemeinkosten		
Material	3974	3910
Lager, Entzunderung NC-Bohren Kleinblechzuschnitt Fertigung Zuschlag Leitung		
Fertigung	7428	6272
Farbbeschichtung 1 Farbbeschichtung 2 Beschichtung von Hand		
Konservierung	319	234
Montage	540	497
Herstellungskosten	12530	11182

Tabelle 6.6 – Herstellungskosten

Für die letztendlich resultierenden Vollkosten sind natürlich noch Kosten für Verwaltung und Vertrieb sowie der Gewinnanteil aufzuschlagen. Da es sich hier um herausgelöste Elemente einer Gesamtstruktur handelt, sind diese Ergebnisse immer in dem Hintergrund dessen zu relativieren. Für beide kalkulierte Anschlüsse stellt sich folgendes Bild der Kostenanteile in der Herstellung dar.

Wie aus dem Diagramm ersichtlich, stellen die Kostenanteile der Fertigung und des Materials die 91 % der gesamten Herstellungskosten, wobei natürlich der Fertigungsanteil mit 59 % dominant ist. Der Kostenaufwand für das Technische Büro sowie der Aufwand für den Korrosionsschutz und die Montage sind in dieser Betrachtung quasi zu vernachlässigen.

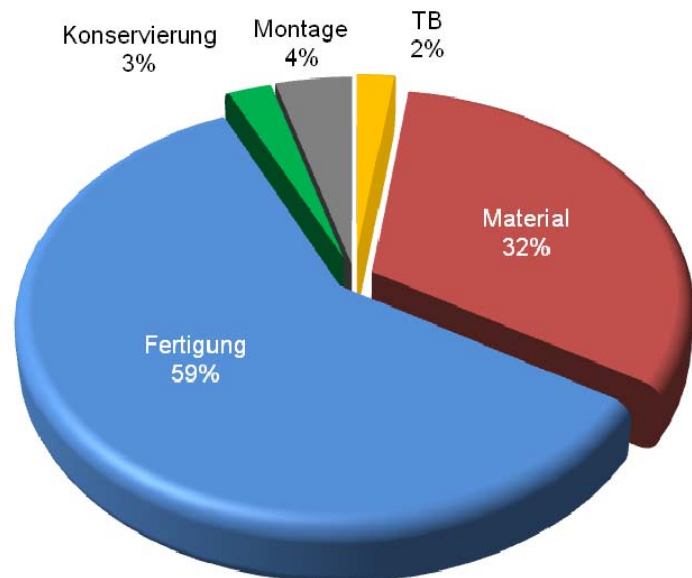
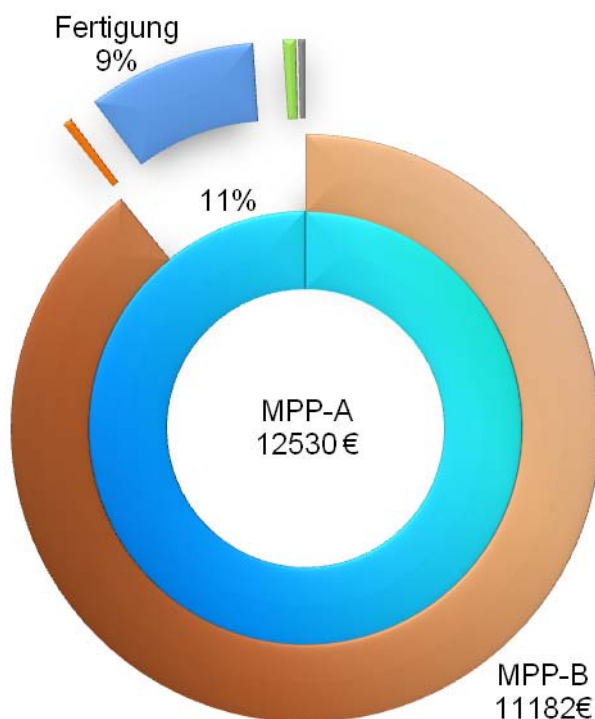


Abbildung 6.6-1 – Kostenanteile je Anschluss des Typs II



In der Gegenüberstellung der beiden unterschiedlichen Anschlussgestaltungen des Typs II ist festzustellen, dass die gelenkige Ausführung (MPP-B) um 11% geringere Kosten verursacht als der momenten-tragfähige Anschluss (MPP-A). Dieses Kostenersparnis ist klar dem Fertigungsanteil zuzuschreiben. Dieser beträgt im Vergleich der beiden Fertigungsanteile 15 % zueinander und stellt in der Summe 9% der Kosteneinsparung dar.

Abbildung 6.6-2 –
Kostenvergleich am Anschlusstyp II
zwischen biegesteifer und gelenkiger
Ausführung

7 Zusammenfassung

Die im Energiesektor weiterhin zu erwartenden Investitionen werden – abhängig von umweltpolitischen Entscheidungen der Politik – zu einem großen Teil in den Kraftwerksbau fließen. Dies ist eines der größten Geschäftsfelder, in denen Stahlbauunternehmen in den kommenden Jahren kontinuierlich Aufträge akquirieren werden. In wieweit es sich dabei um Kohlekraftwerke handelt, bleibt abzuwarten.

Aus der Betrachtung der Varianten, ein Kesselgerüst auszusteifen ist ersichtlich, dass eine direkte Unterstützung der Auflagerpunkte der Kesseldeckenträger auf dem oberen Riegel günstige Massen nach sich ziehen, da der Riegel diese Lasten nicht über Biegung abtragen muss und zudem die Spannweite reduziert wird. Je mehr Kesseldeckenträger direkt unterstützt werden, desto günstiger stellt sich die Situation für die Bemessung des Riegels dar. Jedoch ist hier auch immer die Anlagentechnik und der von ihr in Anspruch genommene Raum zu berücksichtigen, was nicht immer die günstigste Konfiguration für das Tragwerk ermöglicht.

Die Ausführung der Kopfpunkte mit eingezogenen Stützen bietet geringe Verformungen hinsichtlich horizontaler Lasten und aufgrund der Einsparung von Diagonalstäben einen geringen Materialbedarf. Jedoch ist die Fertigung dieser Stützenabschnitte aufgrund ihrer Abmessung und Form aufwändig. Zudem wird die Verbandsführung in den rechtwinklig zu der Fachwerkwand stehenden Wänden schwieriger, da die Gestaltungsfreiheit und die Anschlussmöglichkeiten im oberen Bereich eingeschränkt sind. Wird der Verband in diesen Ebenen bis nach oben geführt, so ist das prinzipiell machbar, doch würde das für die oberen Riegel große Schnittkräfte nach sich ziehen, was wiederum dementsprechende Querschnitte erforderlich macht. Somit ist bei allen objektiven Vorteilen, welche diese Variante bietet, festzuhalten, dass der Aufwand für die Fertigung diese Ausführung nur schwer in der Praxis umsetzbar machen.

Ausführungen, deren oberer Riegel sich ohne Zwischenstützung von Stütze zu Stütze spannt sind aufgrund der sich einstellenden Schnittkräfte – besonders Biegemomente – und den daraus resultierenden Querschnitten grundsätzlich zu vermeiden.

Die Stützen weisen jeweils, unabhängig von der Ausfachung und dem damit verbundenen Verlauf der Schnittkräfte, an den Knotenpunkten die für die Bemessung maßgebenden Schnittgrößen auf. Aus diesem Grund ist eine Abstufung zwischen Knotenbereich und Feldbereich der Stütze in Abhängigkeit von den jeweiligen Hubelementen sinnvoll. Da die maßgebende Schnittkraft die Normalkräfte darstellt, bewegt sich das Einsparungspotential nur in dem Einfluss der Größenordnung des Verlaufs der Biegemomente, was bis zu 30 % des Nachweiskriteriums betragen kann. Diese Einsparung an Material muss jedoch immer dem Aufwand gegenüber gestellt werden, der für die Arbeitsschritte der Querschnittsanpassung erforderlich ist. Bei dem Kesselgerüst Maasvlakte wurde diese Abminderung praktiziert, jedoch mit dem Resultat, dass der Materialoptimierung geschuldet

Blechstärken von 22, 24, 26, 28, 32, 34, 38 mm Anwendung fanden. Im Zuge der Untersuchungen dieser Diplomarbeit wurden diese – gezwungenermaßen – beibehalten, um Ergebnisse zu erlangen, welche sich mit dem Referenzobjekt ins Verhältnis stellen lassen. Jedoch stellen Abstufungen der Materialstärken in 5er bis 10er Schritten eine deutlich günstigere Einkaufs- und Lagersituation für die Fertiger solcher Kesselgerüste dar.

Bei den Ausfachungen der unteren Schüsse 1 bis 6 weisen Strukturen mit Diagonalen die zu einem K-Fachwerk angeordnet sind, die günstigsten Resultate hinsichtlich Verformung und Materialverbrauch auf. Wobei exzentrisch angeordnete Diagonalen eine größere Verformbarkeit aufweisen, was sie in Anwendungen mit außergewöhnlichen Horizontallasten bevorzugen lässt. Im Bezug auf das Kesselgerüst mit den hohen Vertikallasten, die direkt von oben auf die Konstruktion wirken, ist die Verformung aber dann doch entsprechend zu begrenzen, um den Einfluss der Verformung auf die Schnittkräfte so gering wie möglich zu halten. Bei exzentrisch angeordneten Diagonalen ist der Abstand so gering wie möglich zu wählen, um die Beanspruchung des Riegels aus dem dadurch resultierenden Moment zu minimieren. Die Varianten mit nach oben hin geöffnetem K-Fachwerk oder exzentrisch angeordneten Diagonalen weisen im Bezug auf Masse und Verformung ungünstigere Werte auf, als die zuvor beschriebenen Ausführungen.

Ausfachungen mit Kreuzverbänden oder nur einer Diagonale je Schuss bieten hinsichtlich der Auslenkung durch horizontale Einwirkungen gute Ergebnisse – wenn sie Druckkräfte übertragen können, doch sind die dafür erforderlichen Massen nicht so, dass diese Ausführungen eine wirkliche Alternative zu dem K-Fachwerk darstellen. Bei Ausführungen, die nur mit Zugstäben ausgesteift werden, ist die Dehnung der Stäbe unter Last so groß, dass eine sinnvolle Anwendung zu bezweifeln ist.

Die Ausführungsvarianten, welche die Rahmenkonstruktion als aussteifendes Element aufweisen, sind im Bezug auf Masse und Verformung die Schlusslichter im Vergleich zu den anderen Varianten. Zudem ist der erhoffte Vorteil der freien nutzbaren Räume für die Anlagentechnik nicht in dem Maße vorhanden, dass diese Werte dadurch relativiert oder gar aufgewogen werden.

Im Hinblick auf die Durchlässigkeit der Fachwerkwände liegen alle Varianten auf nahezu einem identischen Niveau. Hier sind die zusammenhängenden freien Räume für die Anlagentechnik entscheidend. Somit ist hier eine subjektive Wertung der zur Verfügung stehenden Räume maßgebend. Die Auswertung der Flächen, welche für den Korrosionsschutz behandelt werden müssen, bewegt sich zwischen den Maximal- und Minimalwert der verglichenen Varianten in einem Bereich von rund 13 %. Mit dem Hintergrund des Kostenanteils der Konservierung aus Kapitel 6 weisen diese Resultate keine signifikanten Potentiale der untersuchten Varianten auf. Genauer betrachtet, bewegt sich der Großteil - 7/8 der Varianten - in einem Bereich von rund 7 % zueinander, was quasi auf einem Niveau liegt.

Aus den Resultaten der Variantenuntersuchung und der sich herausstellenden positiven Aspekte des K-Fachwerks ist im Hinblick auf das Kesselgerüst Maasvlakte nur bedingt ein Freilegen von unausgeschöpften Ressourcen möglich, da das K-Fachwerk hier schon praktisch umgesetzt ist. Jedoch ist die Differenz zwischen den in der Variantenuntersuchung ausgewerteten Varianten MPP-A und MPP-B interessant. Die erstgenannte Ausführung ging mit der ursprünglichen Struktur des Kesselgerüsts Maasvlakte in die Untersuchung ein. Die Version MPP-B wurde mit gelenkigen Anschlüssen in dem Variantenvergleich betrachtet. Aus der Frage heraus, ob der Mehraufwand an verarbeiteten Material durch eine möglicherweise effizientere Anschlussgestaltung kompensiert oder gar egalisiert werden kann, wurde das gesamte Kesselgerüst Maasvlakte mit gelenkig angeschlossenen Riegeln bemessen. Um die Resultate ebenfalls vergleichbar zu gestalten, wurden sie entsprechend der Referenzstatik geführt. Die sich daraus ergebenden Daten entsprachen den Erwartungen, wobei letztendlich die Differenz der beiden Ausführungen zueinander sich geringer darstellt als in der Variantenuntersuchung des Kapitels 3. Dies ist darauf zurückzuführen, dass es sich bei der Untersuchung aus dem Kapitel 3 nur um die Betrachtung einer Wandscheibe drehte. Da die Wandscheiben rechtwinklig zu der Untersuchten bereits komplett als K-Fachwerk ausgeführt sind und hier bei beiden keine großen Unterschiede, trotz der unterschiedlichen Anschlusskonfiguration, ersichtlich werden, relativiert sich dieser Abstand der Ausführungen. So beträgt die Differenz aus der Betrachtung der Fachwerkscheibe rund 3 % bei der Stahlmasse und der Verformung der Konstruktion. Im Hinblick auf die Gesamtkonstruktion ist dies für die erforderliche Masse auf 1,6 % zurückgegangen, was in absoluten Zahlen 43,6 t entspricht. Die Differenzen in der Verformung sind ebenfalls geringer. So ist die Verformung in X-Richtung um 1,4 % gestiegen und um die Y-Achse sogar um 2,4 % zurückgegangen, was auf die massivere Ausführung der Stützen im unteren Bereich und den dort vorliegenden Aussteifungen zuzuschreiben ist.

Die Anschlüsse wurden so bemessen, dass alle Schnittkräfte - mit Ausnahme des Momentes um die y-Achse des Riegels - in die Stütze eingeleitet werden. Aus diesem Grund wurden die Riegel zur Stütze hin eingezogen, so dass die Flanschbleche der Kastenträger nicht an die Stütze direkt anschließen. Die Verbindung zur Stütze wird mittels einer Stirnplatte realisiert. Die Schrauben im Bereich der Riegelstege wurden die Querkräfte in z-Richtung und aus dem Torsionsmoment zugewiesen, sowie eine anteilige Normalkraft und die Kräfte aus dem Moment um die z-Achse des Riegels. Die Schrauben im Bereich des eingesetzten Stegbleches erhalten nur anteilige Normalkräfte sowie die Querkräfte in y-Richtung. Bei Anschlüssen mit hohen Querkräften im Anschlussbereich werden diese Kräfte durch zusätzliche Schraubenreihen im Bereich der angeschlossenen Riegelstege abgetragen, um den Bereich des Anschlusses mit geringen Höhen zu realisieren. Durch die Kräfte in der Schraubenachse werden konstruktiv Verstärkungsbleche in Anlehnung an die Abmessung der Stirnplatte, auf der Innenseite der Stützenwand angeordnet. Bei Anschlüssen mit hohen Querkräften werden diese Verstärkungsbleche über die gesamte

Breite der Stützenwand angeordnet, um die Querkkräfte in diesem Bereich in die Stütze eintragen zu können.

Der Anschlussquerschnitt wurde jeweils mit den Querkkräften aus der Schraubenbemessung nachgewiesen, andere Profilschnitte im Anschlussbereich wurden mit dem Wert des Torsionsmomentes nachgewiesen. Teilweise wird es erforderlich, den Anschlussquerschnitt höher zu gestalten, als es für die Schrauben notwendig ist. Hier wird der anschließende Querschnitt an die Stirnplatte im Bezug auf die Querkkräfte mit der gesamten Höhe bemessen, wobei sich die Übertragung der Normalkräfte sowie der Momente um die lokale z-Achse nur auf den Bereich beschränkt, welcher innerhalb der Stütze ausgesteift ist.

Das eingesetzte Stegblech des Anschlussquerschnittes wird von der Stirnplatte bis zu einem Schottblech im geschlossenen Kastenprofil des Riegelquerschnitts geführt. Das Schottblech ist weitestgehend als konstruktiver Abschluss des Kastenprofils zu betrachten. Über das eingesetzte Stegblech werden die anteilige Normalkraft sowie die Querkkräfte in lokaler y-Richtung in die Stütze übertragen.

Den verschiedenen Anschlusssituationen der Riegel und Diagonalstäbe geschuldet, wurden die Anschlüsse in 5 Typen gegliedert, von denen je einer bemessen wurde. So werden die Diagonalen an die Knotenbleche mittels Verbindungsbleche als zweischnittige Schraubenverbindung angeschlossen. Die Diagonalen im oberen Schuss werden aufgrund der hohen Druckkräfte als schlupffreier Stirnplattenstoß ausgeführt.

Die Knotenbleche bzw. Riegelstege, an denen die Diagonalen anschließen, werden an die Stütze herangeführt und, je nach Anslusstyp, angeschlossen.

Im Inneren der Stütze sind wie bereits erwähnt, Bleche zur Verstärkung der Stützenwand angeordnet. Dazu kommen noch Steifen, um die in dem Anschlussquerschnitt befindliche Normalkraft in das Schottblech einzuleiten. Deren Höhe richtet sich nach der Gesamthöhe des Schraubenbildes. Bei den Anslusstypen IV und V wird aufgrund der Anschlusssituation durch die Steifen ein Moment in die Stütze eingetragen. Somit werden diese Steifen zwischen zwei Schottblechen angeordnet, um dieses Moment als ein Kräftepaar in die Schottbleche abtragen zu können.

Die Schottbleche verteilen die jeweilig eingebrachten Schnittkräfte aus dem Riegelanschluss über den Stützenquerschnitt, von wo aus diese dann in die Fundamente abgeleitet werden.

Der nach der Bemessung mögliche Vergleich der Anschlüsse zeigt auf, dass die Massen nur in dem Anschluss des Typ I deutlich reduziert werden konnten. Zudem ist hier der Fertigungsaufwand um $\frac{1}{4}$ geringer als in dem Vergleichsanschluss. Da dieser mit am häufigsten am Kesselgerüst vorhanden ist, bietet dieser somit eine klare Einsparung an Material und Arbeitsleistung. Die benötigten Stahlmassen im Typ II sind praktisch identisch zwischen den beiden verglichenen Anschlüssen. Da diese Anschlusssituation ebenfalls, wie der Typ I, häufig am Kesselgerüst in Erscheinung tritt und mit einem Diagonalenanschluss einen höheren Fertigungsaufwand darstellt, wurde dieser Anschluss hinsichtlich der Herstellungskosten detailliert kalkuliert.

Typ	Werkstoffe S355 [t]		Δ [t]	n	Σ [t]
	MPP-B (Gelenk)	MPP-A (Biegesteif)			
I	4,58	8,15	-3,57	14	-24,99
II	3,70	3,67	+0,03	14	+0,21
III	6,78	5,73	+1,05	4	+2,10
IV	7,40	5,68	+1,72	12	+10,32
V	11,47	14,19	-2,72	2	-2,72
Tabelle 7-1 – Gesamtvergleich Material					-15,08

Die Kostenstruktur ist bei den Vergleichsanschlüssen weitestgehend identisch, da sich ein Großteil der Kalkulationspositionen als prozentualer Anteil auf diverse Fixkosten bezieht. In absoluten Zahlen ergibt sich eine Differenz von 1348,- € für den Anschluss des Typ II zugunsten des gelenkig angeschlossenen Riegels. Dies entspricht einem Unterschied von rund 11 % der Herstellungskosten der beiden Ausführungen zueinander. Diese Differenz wird zum Großteil aus Einsparungen in der Fertigung getragen.

Die weiteren Anschlusstypen sind aufgrund ihres Auftretens am Bauwerk von geringerer Bedeutung. So weisen die Typen III und IV in der gelenkigen Ausführung höhere Massen als die um die y-Achse momenten-tragfähigen Anschlüsse auf. Bei dem Anschlusstyp V ist der gelenkige Anschluss hinsichtlich der Massen günstiger. Unabhängig von den erforderlichen Stahlmassen, so ist für alle gelenkigen Anschlüsse ein günstigerer oder identischer Fertigungsaufwand zu verzeichnen.

Letztendlich bleibt als Aussage für das gesamte Kesselgerüst, das die außergewöhnliche Masseneinsparung des Anschlusstyp I bei den gelenkigen Anschlüssen den teilweisen Mehraufwand der anderen Typen kompensiert und somit eine Materialeinsparung im Vergleich der beiden Anschlussvarianten zu Buche steht.

Typ	Stunden je Tonne [h/t]		Δ [h/t]		n	Δ [€]	Σ [€]
	MPP-B	MPP-A					
I	9,10	12,17	-3,07	-25,2%	14	-1715	-24010
II	17,55	21,90	-4,35	-19,8%	14	-1348	-18872
III	11,95	19,32	-7,37	-38,1%	4	-2594	-10376
IV	14,35	15,76	-1,41	-8,9%	12	-606	-7272
V	13,18	13,18	$\pm 0,00$	$\pm 0,0\%$	2	0	0
Tabelle 7-2 – Gesamtvergleich Herstellungskosten							-60530

$$\Delta = 15,08t \cdot 850 \frac{\text{€}}{t} + 60530\text{€} - 43,6t \cdot 900 \frac{\text{€}}{t} = 34108\text{€}$$

Setzt man nun den Fertigungsaufwand als Indikator für die Differenz der Herstellungskosten in das Verhältnis zu dem Arbeitsaufwand je Tonne der verschiedenen Typen, so ergeben sich hier ebenfalls deutliche Kostenvorteile zu Gunsten des gelenkigen Anschlusses, welcher den Mehraufwand aus der Stabstatik von 43,6 t aufwiegt und letztendlich sogar eine Kostenreduktion für das gesamte Kesselgerüst darstellt.

Diese Exemplarische Kostenrechnung bezogen auf das Kesselgerüst ist jedoch nur als überschläglicher Wert zu betrachten, da hier von einem Anschluss auf alle anderen hochgerechnet wird.

Die grundsätzliche Aussage aus dieser Betrachtung der Kosten ist, dass eine gelenkige Durchbildung der Knotenpunkte gegenüber der Rahmenfachwerkkonstruktion konkurrenzfähig ist. Die Auswertung der Anschlüsse zeigt auf, dass wenn die Systemlinien der Riegel und Diagonalen sinnvoll angeordnet werden, eine gelenkige Ausführung der Anschlüsse möglich ist. Stellen die höheren Massen im ersten Augenblick auch einen erheblichen Mehrkostenaufwand dar, so sind im Bezug auf die Fertigung deutliche Tendenzen hin zu einer günstigeren Kostensituation erkennbar.

In wieweit die hier dargestellten Einsparungen, in prozentualen und absoluten Werten, im Hinblick auf die Investitionssumme eines Kesselgerüsts im Verhältnis stehen und ob diese letztendlich eine Abkehr von bewehrten Konstruktionsformen rechtfertigen sei an diesem Punkt dahingestellt. Festzuhalten bleibt, dass K-Fachwerkformen, ob mit gelenkigen oder biegesteifen Riegelanschlüssen, hinsichtlich Materialverbrauch und Verformung bezogen auf die Randbedingungen des Kohlekraftwerks Maasvlakte die günstigsten Resultate im Vergleich zu anderen Ausfachungsformen liefern.

VII Tabellenverzeichnis

Tabelle	Benennung	Seite
3.2.2	Variantenübersicht	21
3.2.5-1	Übersicht der Schnittkräfte in den Riegeln	36
3.2.5-2	Übersicht der Schnittkräfte in den Diagonalen	40
3.2.6	Übersicht der untersuchten Varianten	45
3.3.4	Vergleichswerte	57
3.4-1	Vergleichsquerschnitt der Stütze	60
3.4-2	Vergleichbare offene Stützenquerschnitte	60
3.4-3	Vergleichbare offene Riegelquerschnitte	62
4.3.4	Übersicht Lastfälle	70
4.3.5-1	Übersicht Lastgruppen	71
4.3.5-1	Übersicht Lastkombinationen	72
4.5	Querschnittsänderungen	75
5.3	Übersicht Anschlusstypen	79
6.2	Stahlmassen	100
6.3-1	Fertigungsaufwand	101
6.3-2	Zusammenbau- und Schweißzeiten	101
6.4	Korrosionsschutzflächen	102
6.5	Montageaufwand	102
6.6	Herstellungskosten	103
7-1	Gesamtvergleich Material	108
7-2	Gesamtvergleich Herstellungskosten	108

VIII Abbildungsverzeichnis

Abbildung	Benennung	Seite
1.1.1	Erzeugung von Elektrizität	1
1.1.2	Energiemix in Deutschland	2
1.1.3	Entwicklung der Marktanteile der einzelnen Energieträger	2
1.1.4	Entwicklung der Wirkungsgrades von Kohlekraftwerken	3
1.1.5	Prognostizierter Energiemix im Jahr 2020	3
1.2	Aufbau eines Kohlekraftwerks	4
2.3.2	Möglichkeiten der Ausbildung des Diagonalenanschlusses im Knotenbereich	13
2.4	Kraftwerk Maasvlakte	15
3.1.2	Torsionsmomente	17
3.1.3	Schematische Darstellung der Anpassung der Lasten	18
3.1.4	Linienlast auf Riegel R9	18
3.1.5	Anschlusspunkt Riegel R9 mit angepasster Einzellast	18
3.2.4-1	Vertikallasten LF7	22
3.2.4-2	Horizontallasten LF54	22
3.2.4-3	K1 Statisches System	23
3.2.4-4	K1 Momentenverlauf LF7	23
3.2.4-5	K1 Momentenverlauf LF54	23
3.2.4-6	K1 Momentenverlauf LK5	23
3.2.4-7	K2 Statisches System	24
3.2.4-8	K2 Momentenverlauf LF7	24
3.2.4-9	K2 Momentenverlauf LF54	24
3.2.4-10	K2 Momentenverlauf LK5	24
3.2.4-11	K2 Verformung LK6	24
3.2.4-12	K3 Statisches System	25
3.2.4-13	K3 Momentenverlauf LF7	25
3.2.4-14	K3 Momentenverlauf LF54	25
3.2.4-15	K3 Momentenverlauf LK5	25
3.2.4-16	K4 Statisches System	25
3.2.4-17	K4 Momentenverlauf LF7	26
3.2.4-18	K4 Momentenverlauf LF54	26
3.2.4-19	K4 Momentenverlauf LK5	26
3.2.4-20	K5 Statisches System	26
3.2.4-21	K5 Momentenverlauf LF7	26
3.2.4-22	K5 Normalkräfte LF7	27

Abbildung	Benennung	Seite
3.2.4-23	K5 Momentenverlauf LF54	27
3.2.4-24	K5 Momentenverlauf LK5	27
3.2.4-25	K6 Statisches System	27
3.2.4-26	K6 Momentenverlauf LF7	28
3.2.4-27	K6 Momentenverlauf LF54	28
3.2.4-28	K6 Momentenverlauf LK5	28
3.2.4-29	K7 Statisches System	29
3.2.4-30	K7 Momentenverlauf LF7	29
3.2.4-31	K7 Momentenverlauf LF54	29
3.2.4-32	K7 Momentenverlauf LK5	29
3.2.4-33	K8 Statisches System	30
3.2.4-34	K8 Momentenverlauf LF7	30
3.2.4-35	K8 Momentenverlauf LF54	30
3.2.4-36	K8 Momentenverlauf LK5	30
3.2.4-37	K9 Statisches System	30
3.2.4-38	K9 Momentenverlauf LF7	31
3.2.4-39	K9 Momentenverlauf LF54	31
3.2.4-40	K9 Momentenverlauf LK5	31
3.2.5-1	Übersicht Struktur	34
3.2.5-2	Lastangriff LF54	34
3.2.5-3	Idealisierte Momentenverläufe	35
3.2.5-4	Momenteneinflusslinie im Riegel	39
3.2.5-5	Aktivierte Bereiche durch horizontale Lasten	44
3.3.2-1	Lage der Stütze	51
3.3.2-2	Stützenabmessungen	51
3.3.2-3	Kopfpunkt mit statischen Modell	52
3.3.2-4	Führung des Wandverbandes in der Wand M	52
3.3.2-5	Kopfpunkt 7-1	53
3.3.2-6	Kopfpunkt 7-3	53
3.3.3-1	Struktur und statisches System	56
3.3.3-2	Diagramm Masse-Ausnutzung	56
3.3.3-3	Struktur und statisches System	56
3.3.3-4	Diagramm Masse-Ausnutzung	56
3.3.4-1	Diagramm Masse-Verformung	58
3.3.4-2	Bereiche der Anlagentechnik	58
3.3.4-3	Diagramm Durchlässigkeit der einzelnen Varianten in den Bereichen 1-3	59
3.3.4-4	Diagramm Flächen für den Korrosionsschutz	59
4.3.2	Grundriss Kraftwerk Maasvlakte	67

Abbildung	Benennung	Seite
5.4.1-1	Anschlussquerschnitt	80
5.4.1-2	Anschlussbereich des Riegels	81
5.4.1-3	Stirnplatte mit Anschlussquerschnitt	82
5.4.1-4	Stirnplatte mit Anschlussquerschnitt	82
5.4.1-5	Punkte der Schnittgrößen zur Anschlussbemessung	83
5.4.2	Laschenanschluss der Diagonalstäbe	83
5.4.4	Steifen innerhalb der Stütze	84
5.4.5-1	Verstärkungsbleche des Typ I	85
5.4.5-2	Verstärkungsbleche des Typ II und III	85
5.4.6	Ansicht der Schottbleche in der Stütze	86
5.4.7	Schweißnahtausführungen	86
5.5.1	Gegenüberstellung Anschlusstyp I	89
5.5.2	Gegenüberstellung Anschlusstyp II	91
5.5.3	Gegenüberstellung Anschlusstyp III	93
5.5.4	Gegenüberstellung Anschlusstyp IV	96
5.5.5	Gegenüberstellung Anschlusstyp V	98
6.6-1	Kostenanteile je Anschluss des Typs II	104
6.6-2	Kostenvergleich am Anschlusstyp II zwischen biegesteifer und gelenkiger Ausführung	104

IX Literaturverzeichnis

- /1/ BMWi; Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie; Berlin; Energiestatistiken; Online im Internet; URL:
<http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/energiestatistiken,did=176586.html>
(Stand 06.08.2009)
- /2/ Brandes, Dr.-Ing K.: Aussteifung von erdbebenbeanspruchten mehrstöckigen Rahmentragwerken durch exzentrisch angeordnete Diagonalen. In: Stahlbau, 59. Jahrgang, Heft 3, S. 88 ff. – Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaft – Berlin, 1990
- /3/ BUND für Umwelt und Naturschutz e.V.: Geplante und im Bau befindliche Kohlekraftwerke. Online im Internet; URL:
http://www.bund.net/bundnet/themen_und_projekte/klima_energie/kohlekraftwerke_s_toppen/geplante_standorte/ (Stand 06.08.2009)
- /4/ Dessel, T.: Technische Entwicklung und Anwendung im Kraftwerksbau. In: Stahlbau, 75. Jahrgang, Heft 10, S. 807-813 – Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaft – Berlin, 2006
- /5/ Deutscher Stahlbau-Verband (Hrsg.): Stahlbau Handbuch, Band 2 – Köln: Stahlbau-Verlagsgesellschaft mbH, 1985
- /6/ DIN 18800 Teil 1 - 3: Stahlbauten; 11-90
- /7/ E.ON AG; Düsseldorf; Strom- und Gaskonzern, Innovation; Online im Internet; URL: <http://www.eon.com/de/unternehmen/29133.jsp> (Stand 06.08.2009)
- /8/ E.ON AG; Düsseldorf; Strom- und Gaskonzern, Kraftwerke; Online im Internet; URL: http://www.eon-kraftwerke.com/pages/ekw_de/_flash/_steinkohleschema/B_Flash_Steinkohleschema_Steinkohle.htm (Stand 06.08.2009)
- /9/ Gesamtverband Steinkohle (Hrsg.): Energiemix in Deutschland (Stand 2008). In: LVZ; Leipziger Volkszeitung: Energie (Sonderbeilage Tageszeitung) – Leipzig: Leipziger Verlags- und Druckereigesellschaft mbH & Co. KG, 08.12.2009
- /10/ Petersen; Prof. Dr.-Ing. Chr.: Stahlbau; 1. Auflage 1988 – München: Vieweg Verlag, 1988
- /11/ Schneider, K-J.: Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen, 16. Auflage 2004 – München/Unterschleißheim: Werner Verlag, 2004
- /12/ Stern.de GmbH; Hamburg; Online im Internet; URL:
<http://www.stern.de/wirtschaft/news/maerkte/interessensverband-studie-2020-sind-atomkraftwerke-ueberfluessig-652934-infographic.html> (Stand 06.08.2009)

X Anlagen

Anlage A

Anlage B

Anlage C

Anlage D

Anlage E

Anlage F

Anlage G

Anlage A

Übersichtszeichnungen zum statischen System des Kesselgerüsts bzw. der detailliert verglichenen Tragwerke

Inhalt

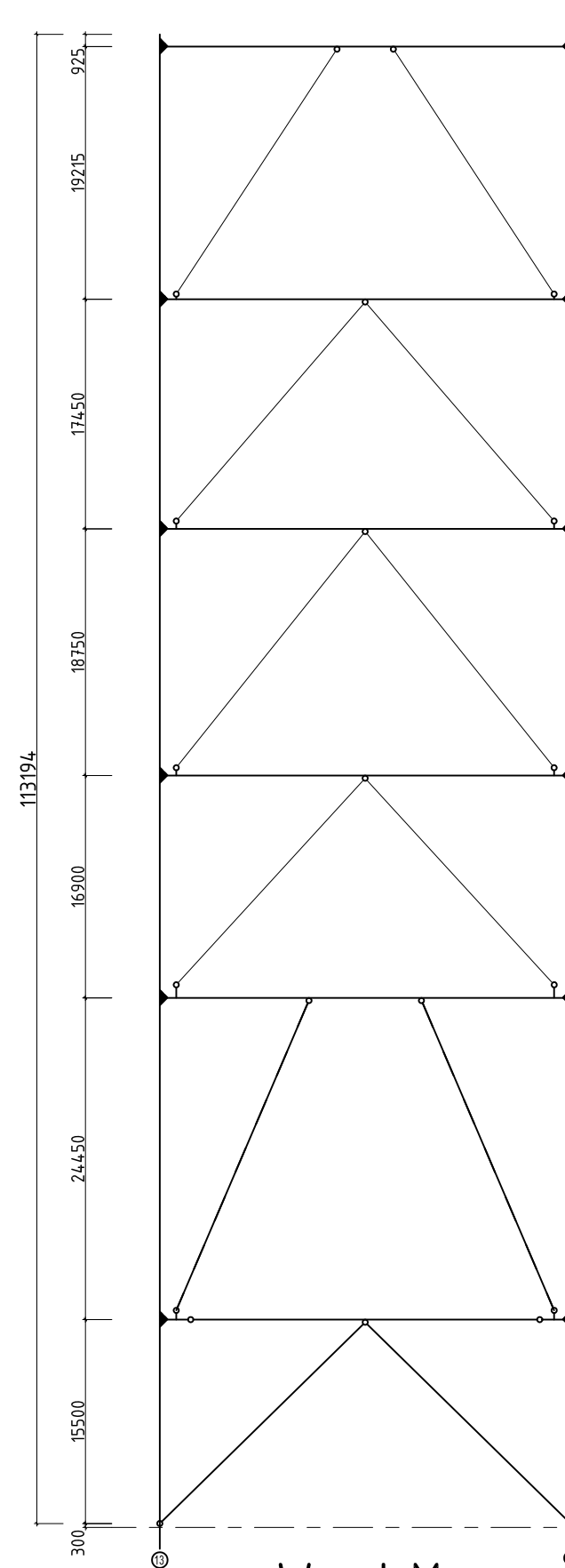
Zeichnungsnummer

Kesselgerüst stat. System MPP-A

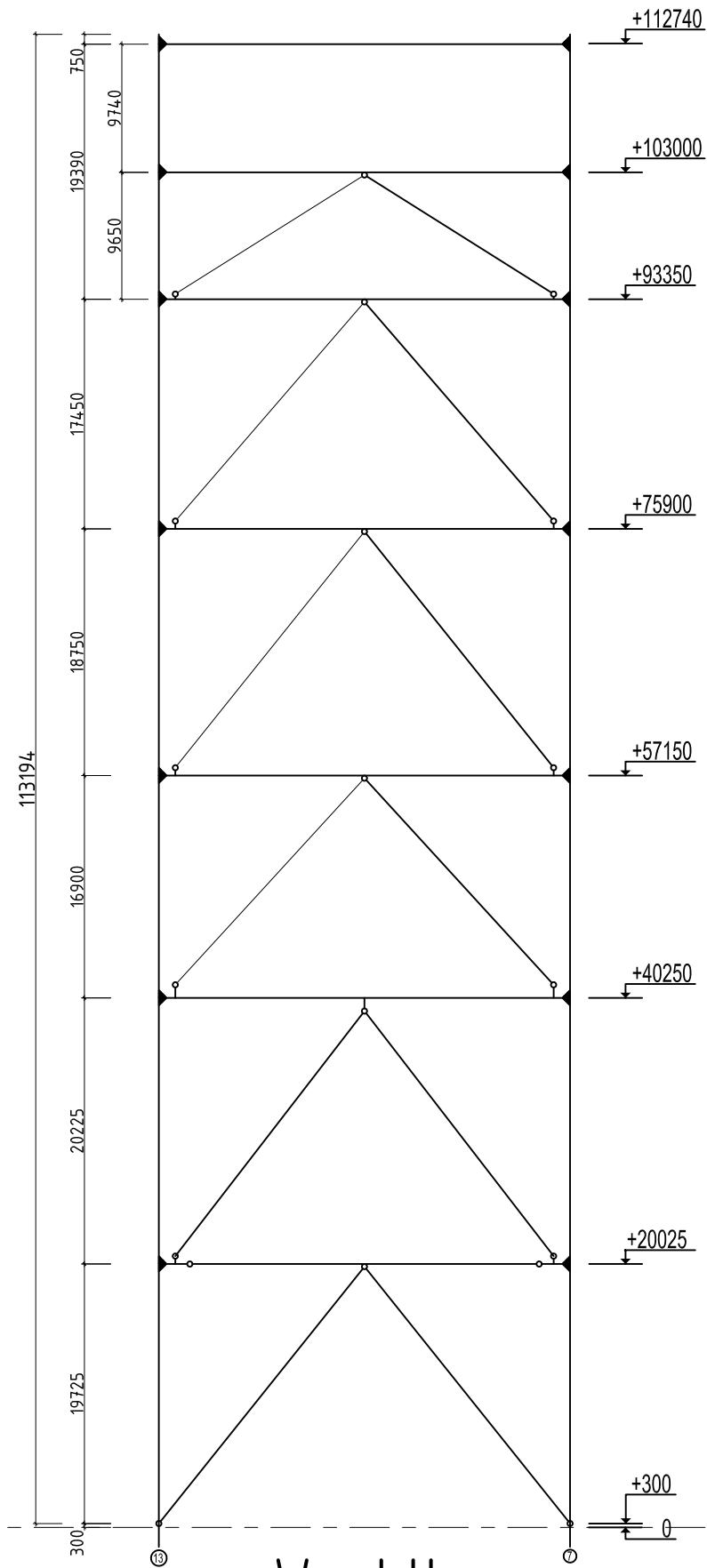
MPP-A-1

Kesselgerüst stat. System MPP-B

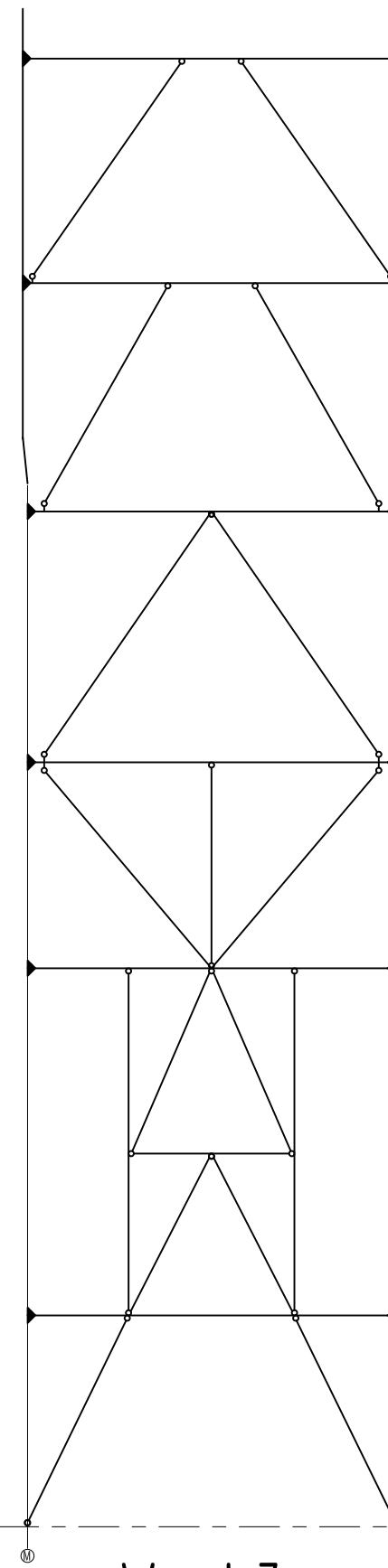
MPP-B-1



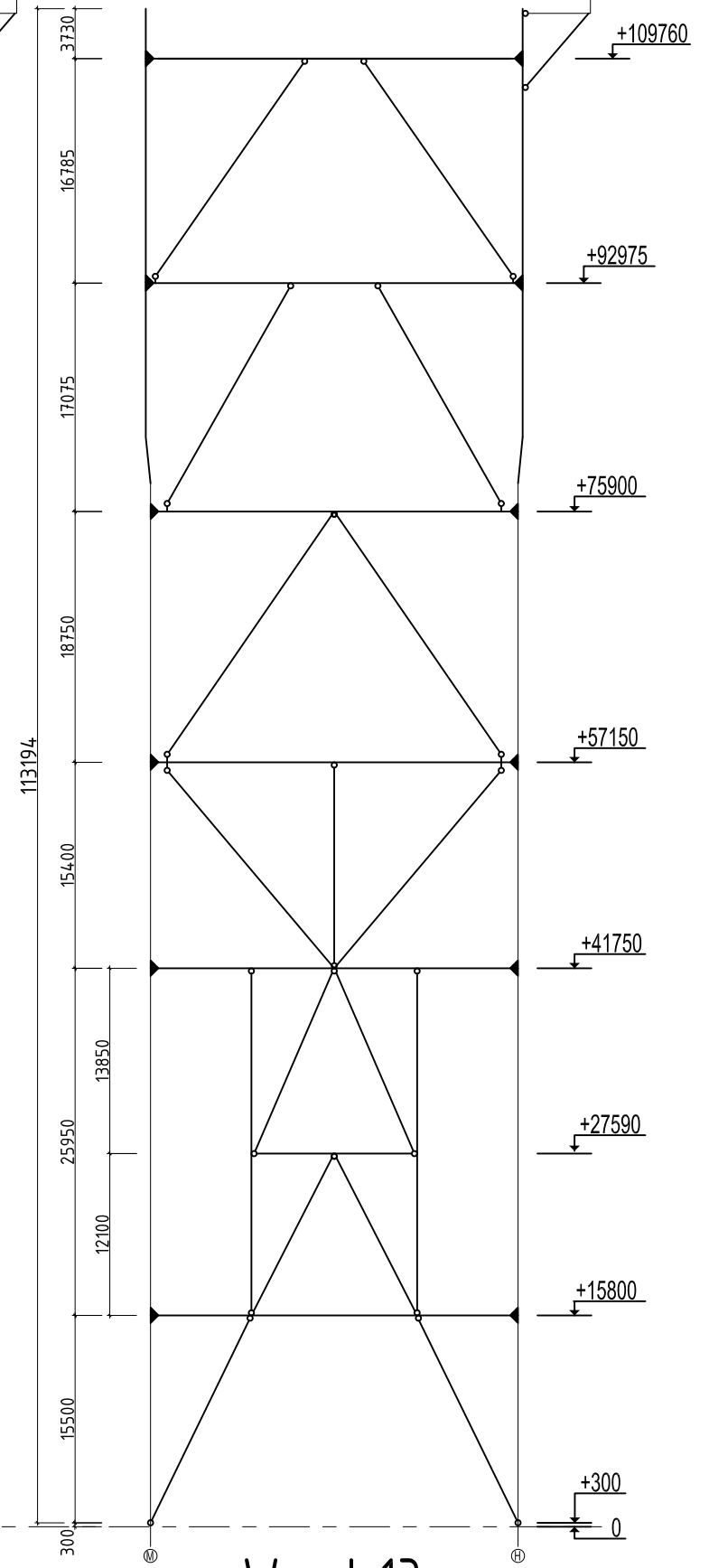
Wand M



Wand H

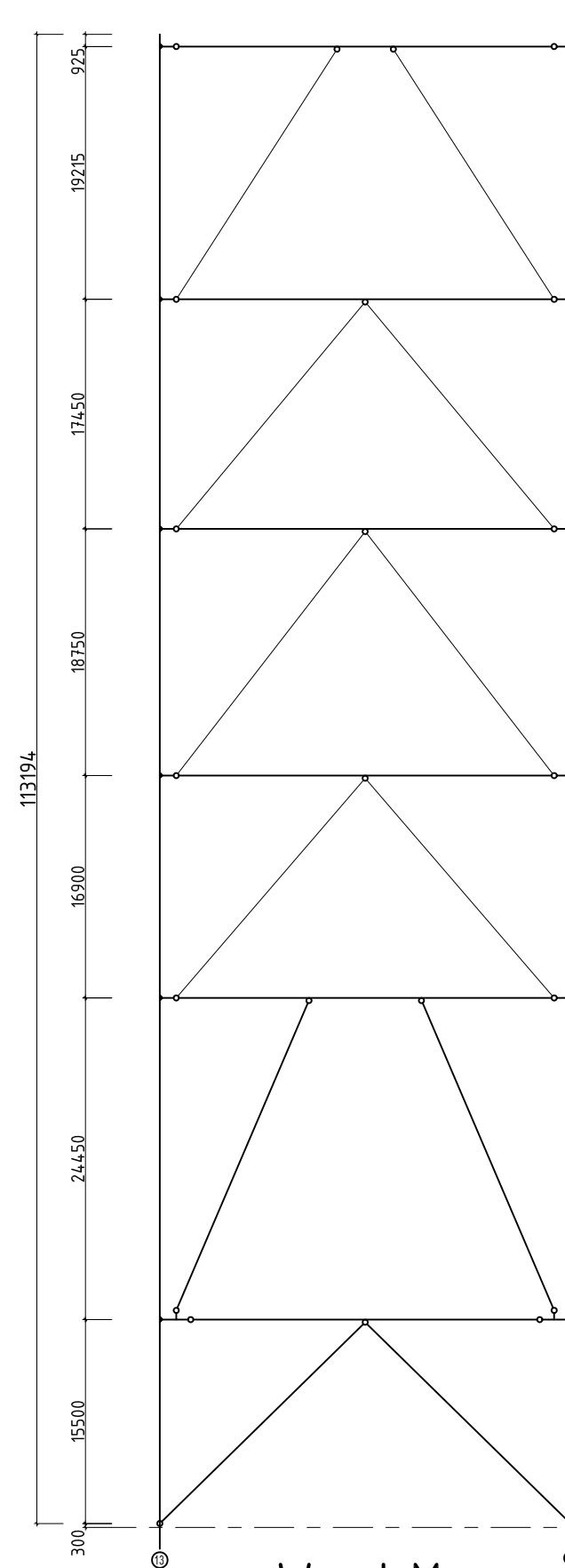


Wand 7

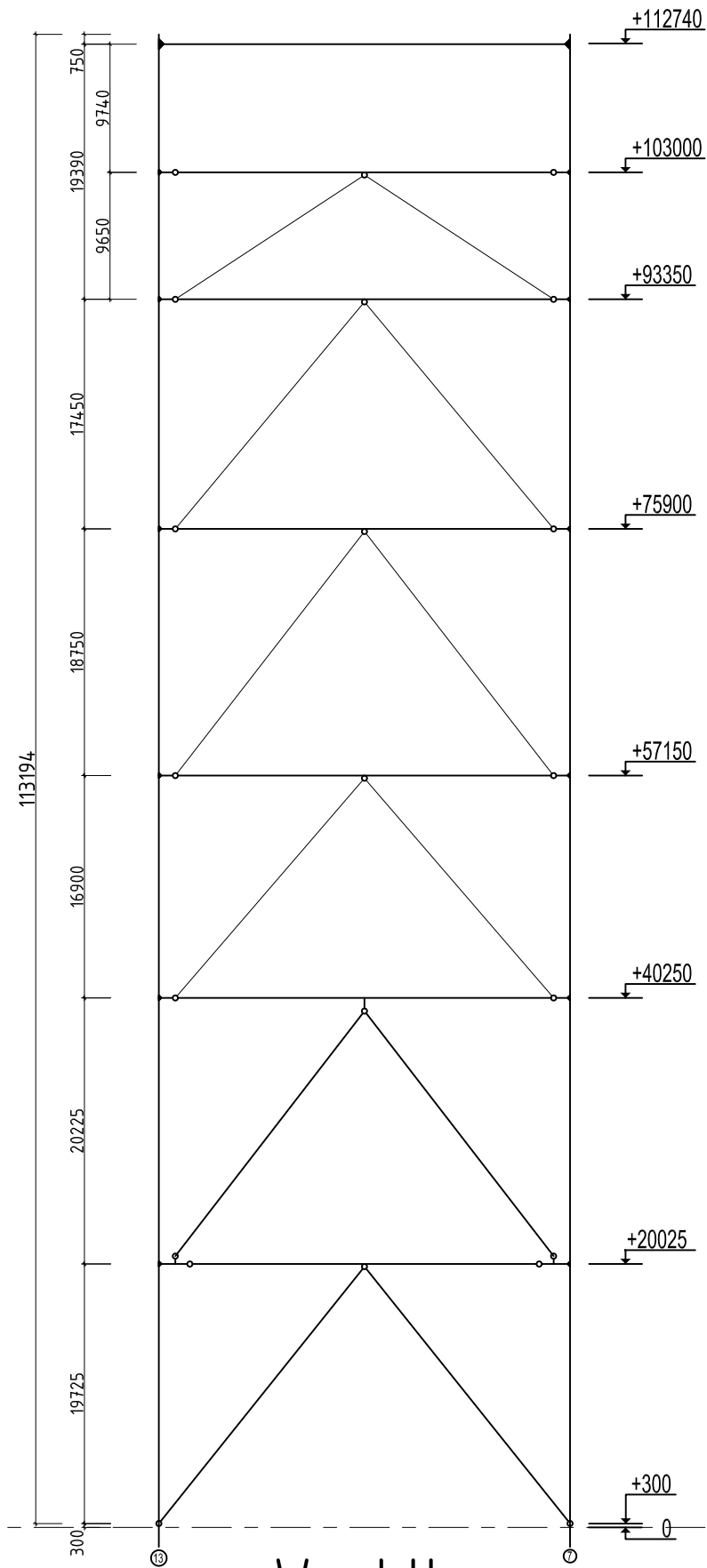


Wand 13

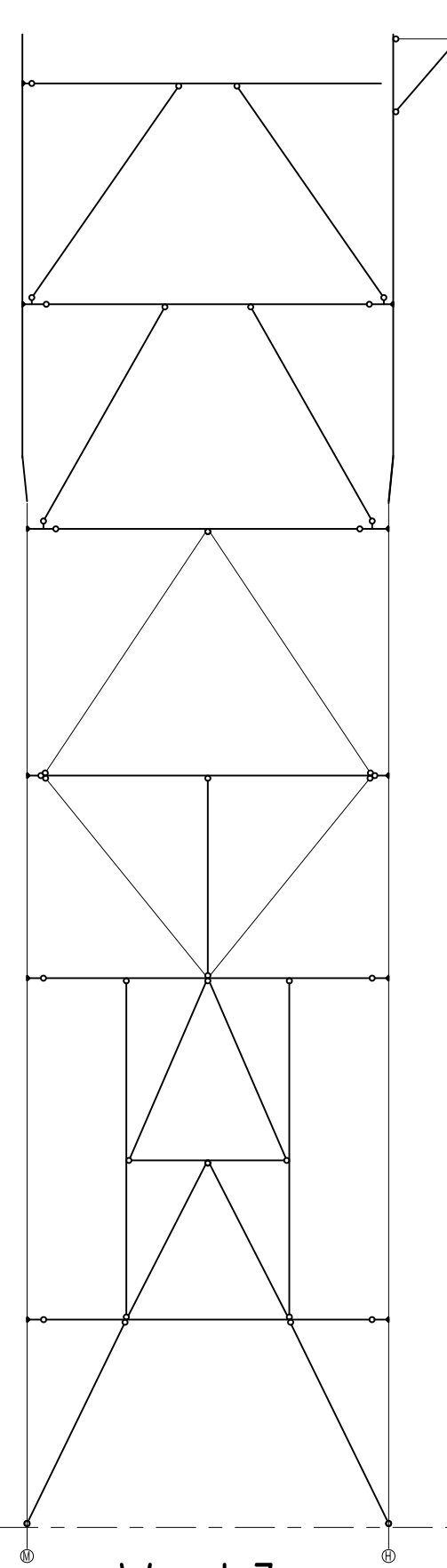
0	Neustadt	15. 12. 09			
Revision	Name	Datum	Beschreibung		
Darstellung			Zeichnungsnummer	Maßstab	Rev. /Ver.
Kesselgerüst stat. System - MPP-A			MPP-A-1	1: 500	0



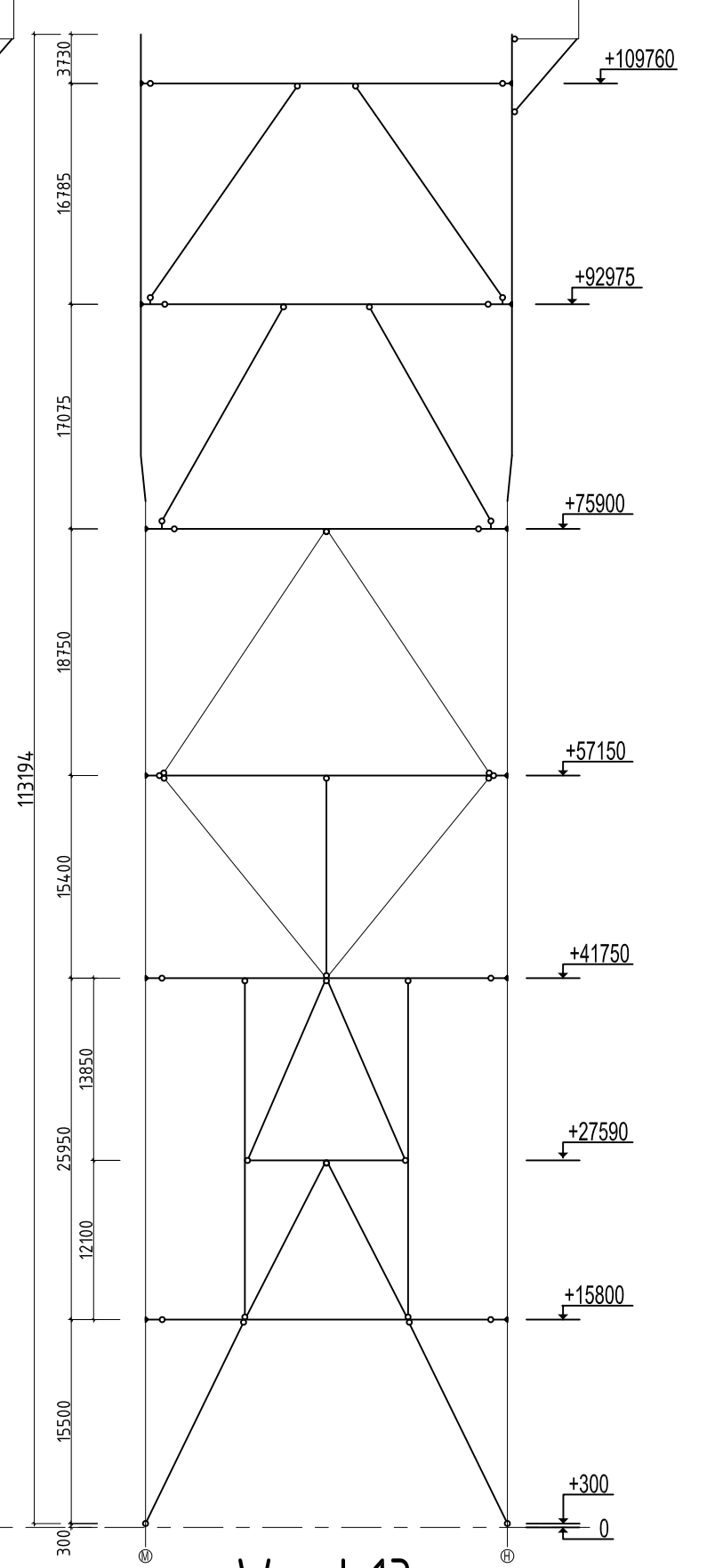
Wand M



Wand H



Wand 7



Wand 13

0	Neustadt	15. 12. 09			
Revision	Name	Datum	Beschreibung		
Darstellung			Zeichnungsnummer	Maßstab	Rev. /Ver.
Kesselgerüst stat. System - MPP-B			MPP-B-1	1: 500	0

Anlage B

Stahlbauübersichtszeichnung des Kesselgerüsts

Inhalt

Zeichnungsnummer

Übersicht Kesselgerüst MPP-A

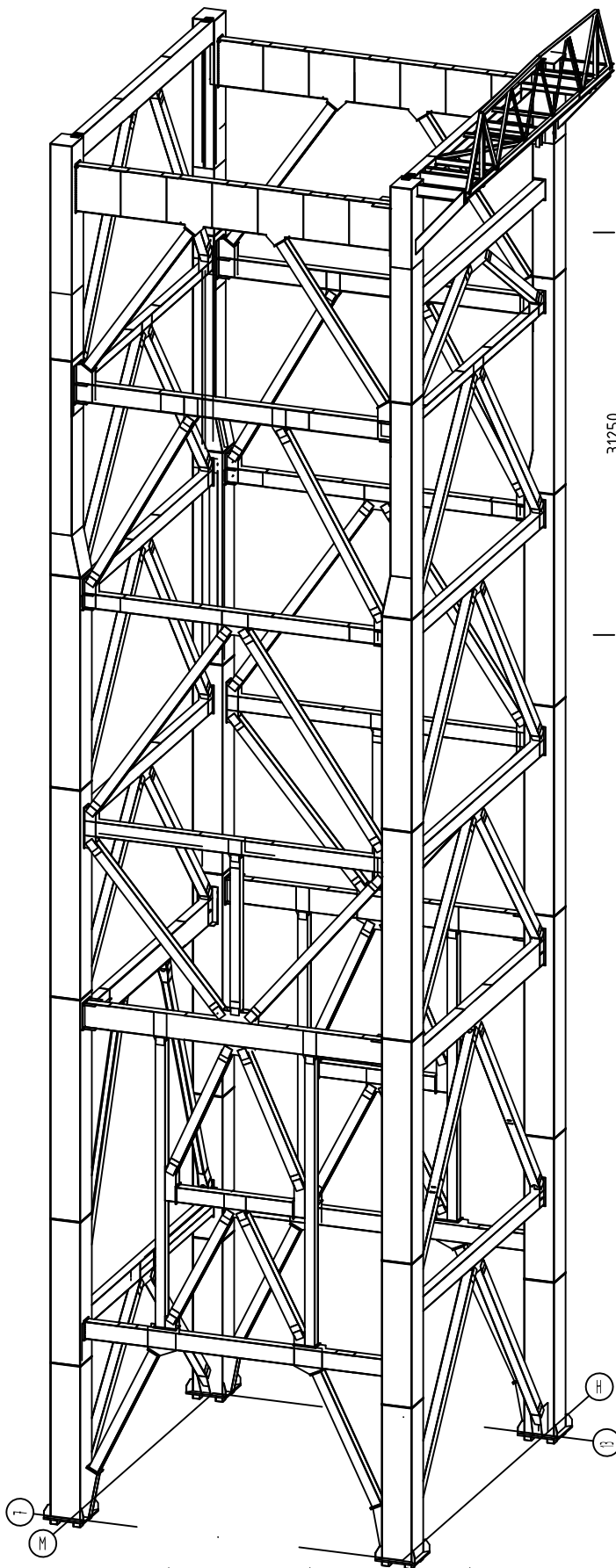
MPP-A-2

Übersicht Kesselgerüst MPP-A

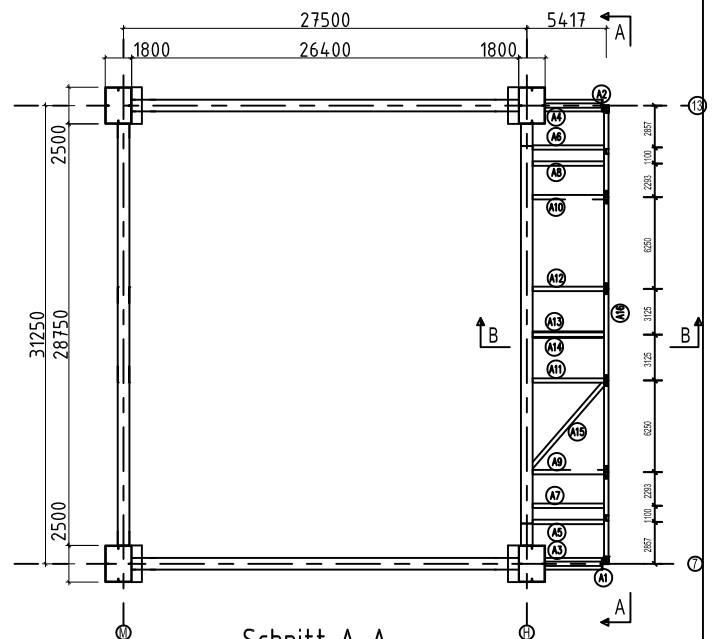
MPP-A-3

Übersicht Kesselgerüst MPP-B

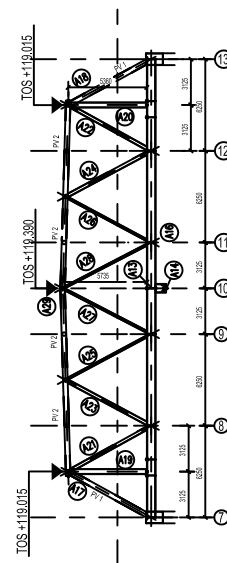
MPP-B-2



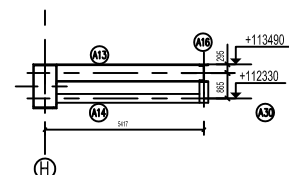
Horizontal Schnitt +113,490m M1:200



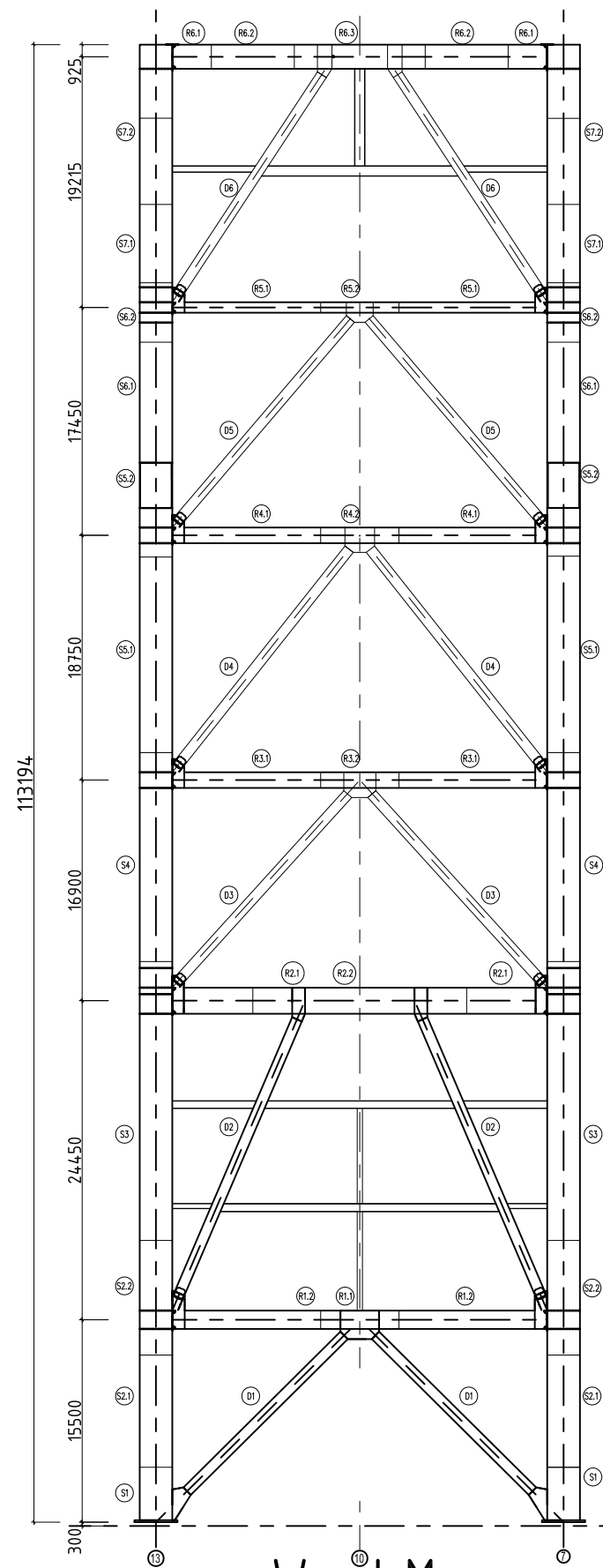
Schnitt A-A
M1:200



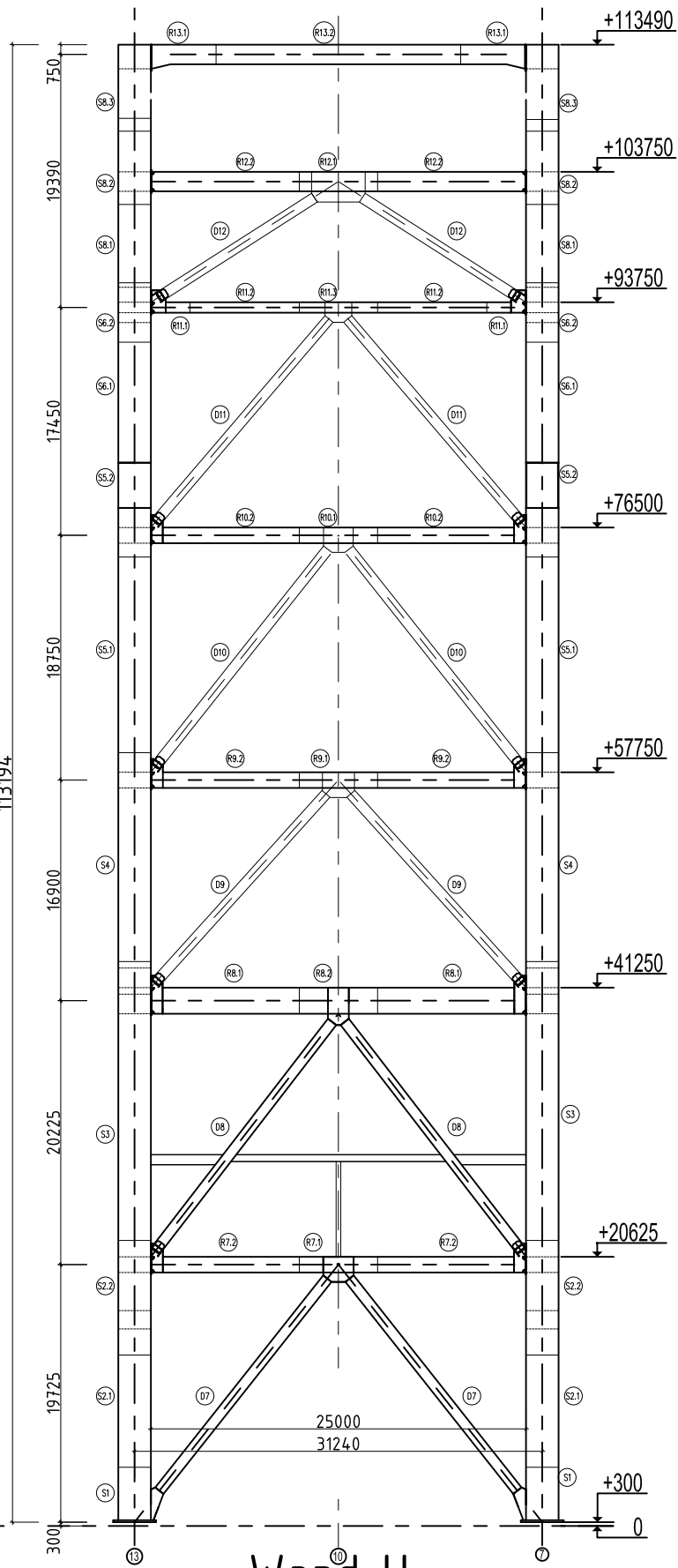
Schnitt B-B
M1:100



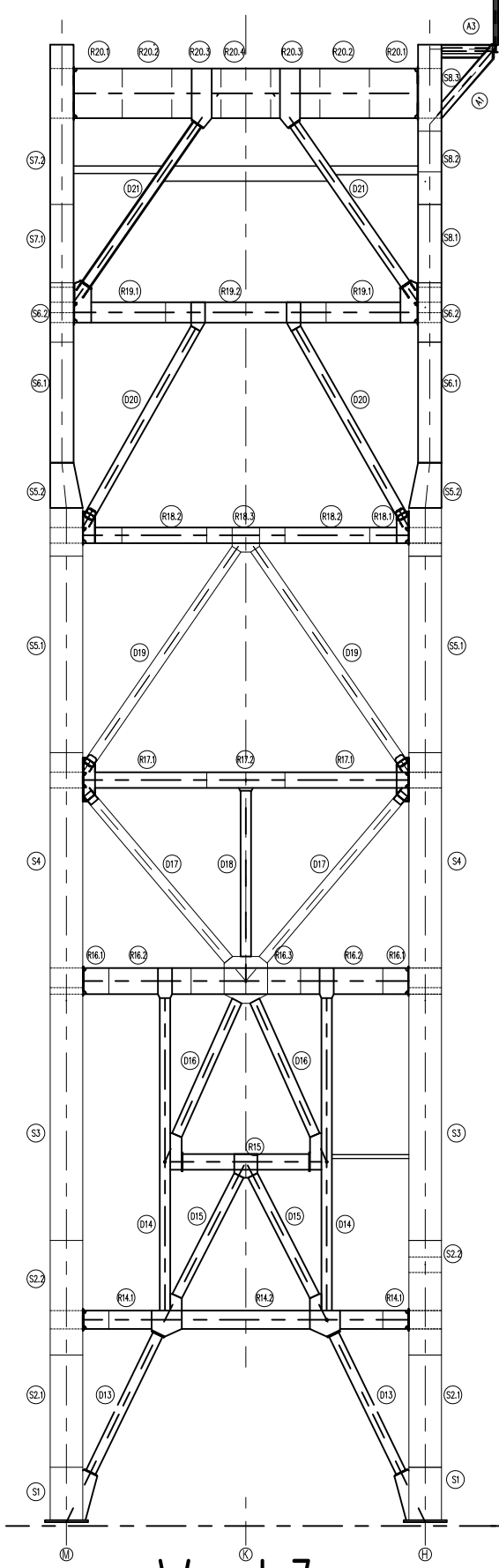
0	Neustadt	15. 12. 09			
Revision	Name	Datum	Beschreibung		
Darstellung	Zeichnungsnummer		Maßstab	Rev. /Ver.	
Kesselgerüst Übersicht - MPP-A	MPP-A-2		1: 500	0	



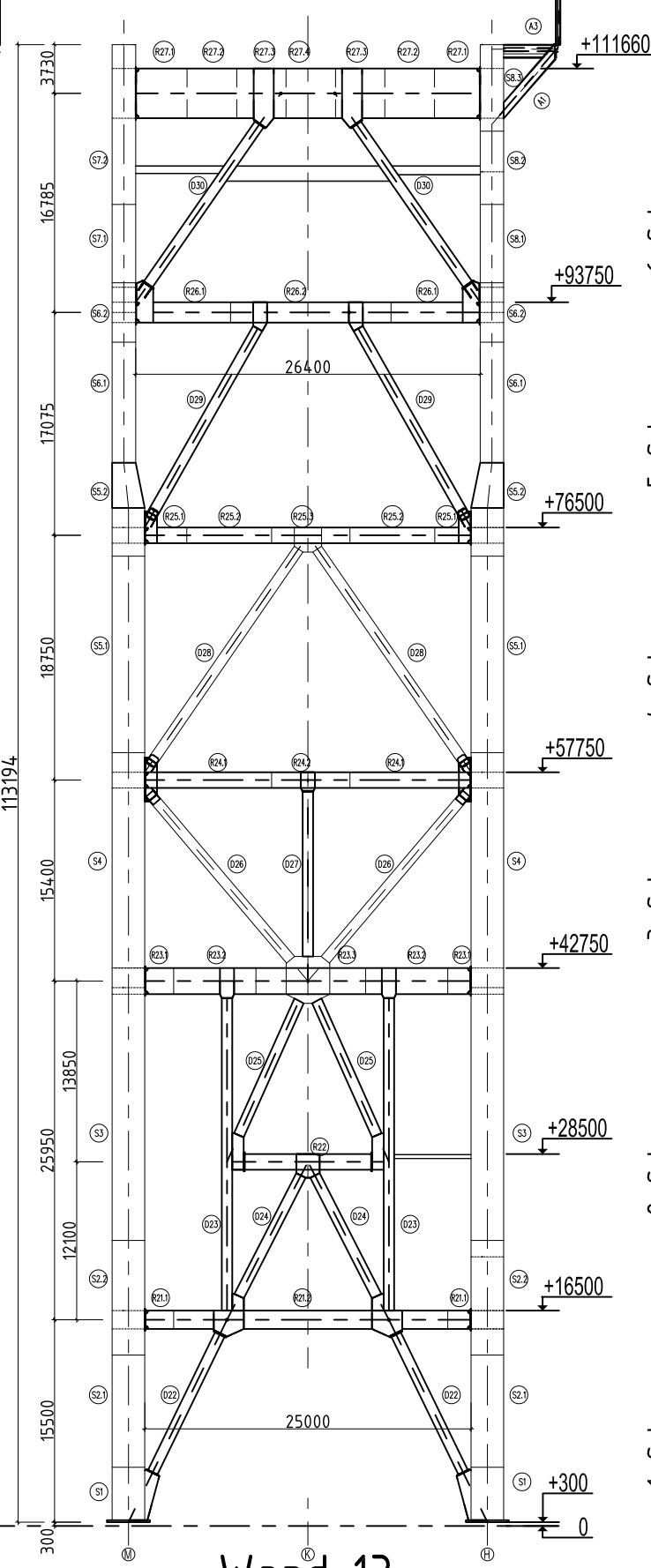
Wand M



Wand H



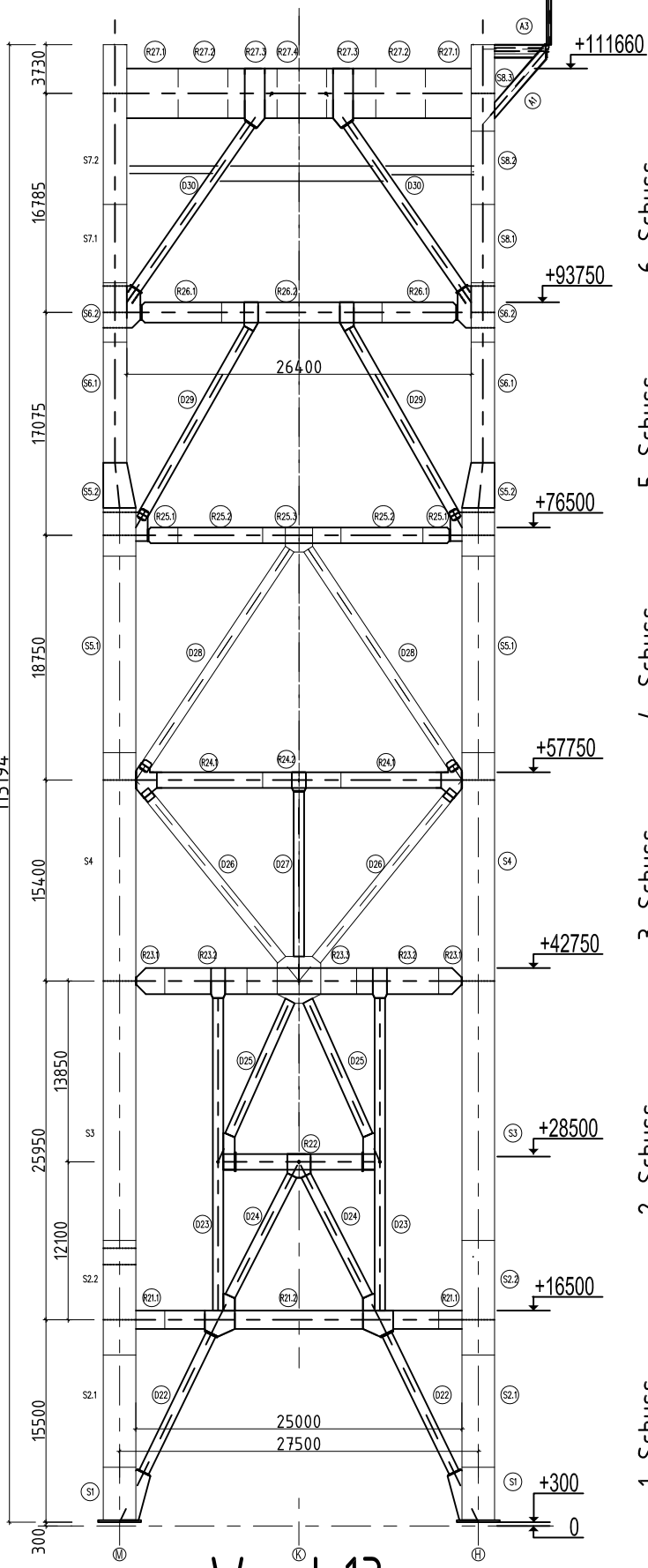
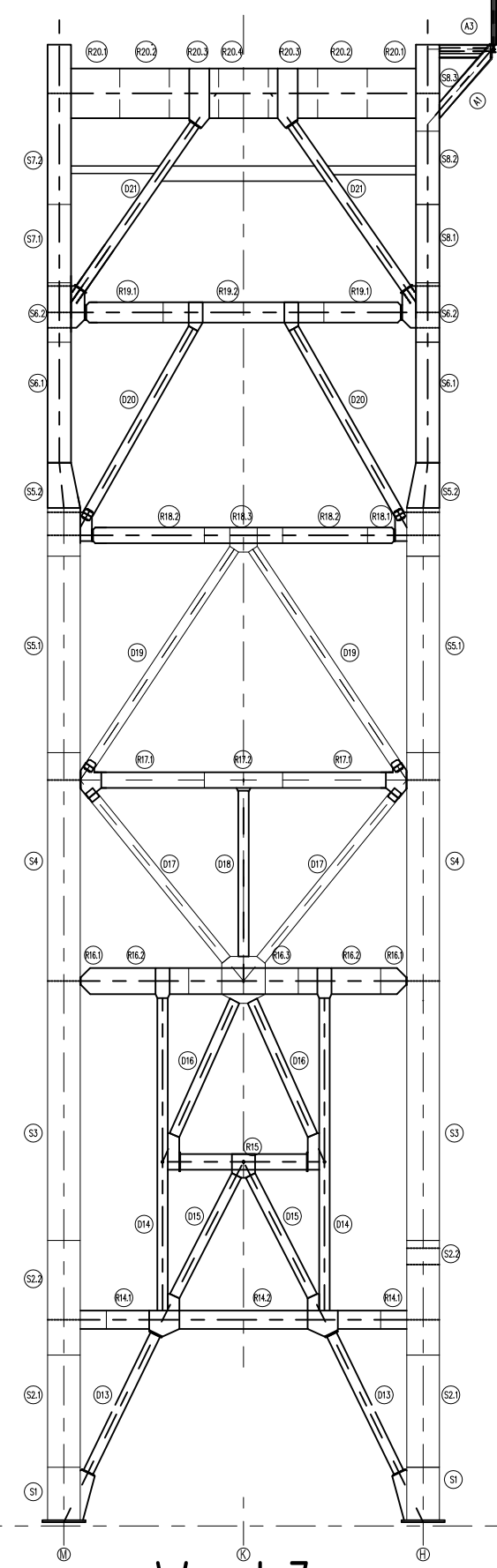
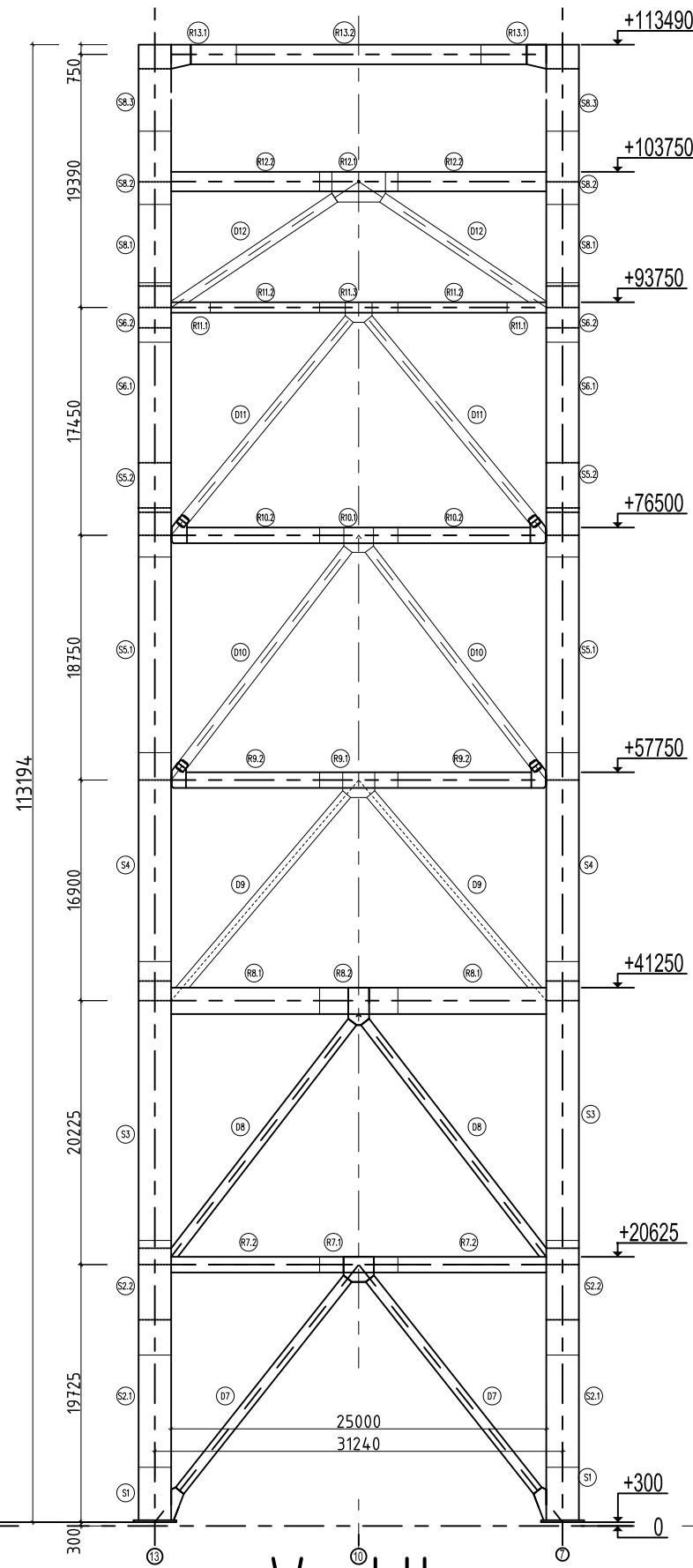
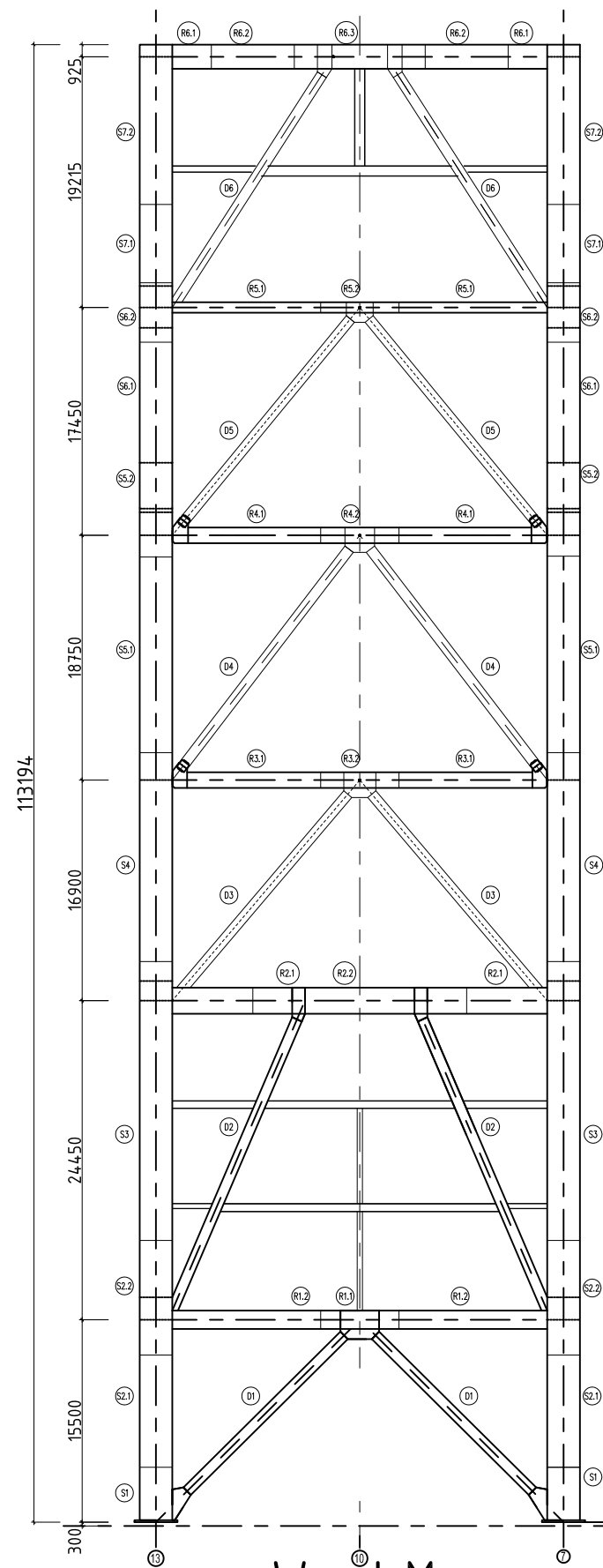
Wand 7



Wand 13

1. Schuss
2. Schuss
3. Schuss
4. Schuss
5. Schuss
6. Schuss

0	Neustadt	15. 12. 09			
Revision	Name	Datum	Beschreibung		
Darstellung			Zeichnungsnummer	Maßstab	Rev. /Ver.
Kesselgerüst Übersicht - MPP-A			MPP-A-3	1: 500	0



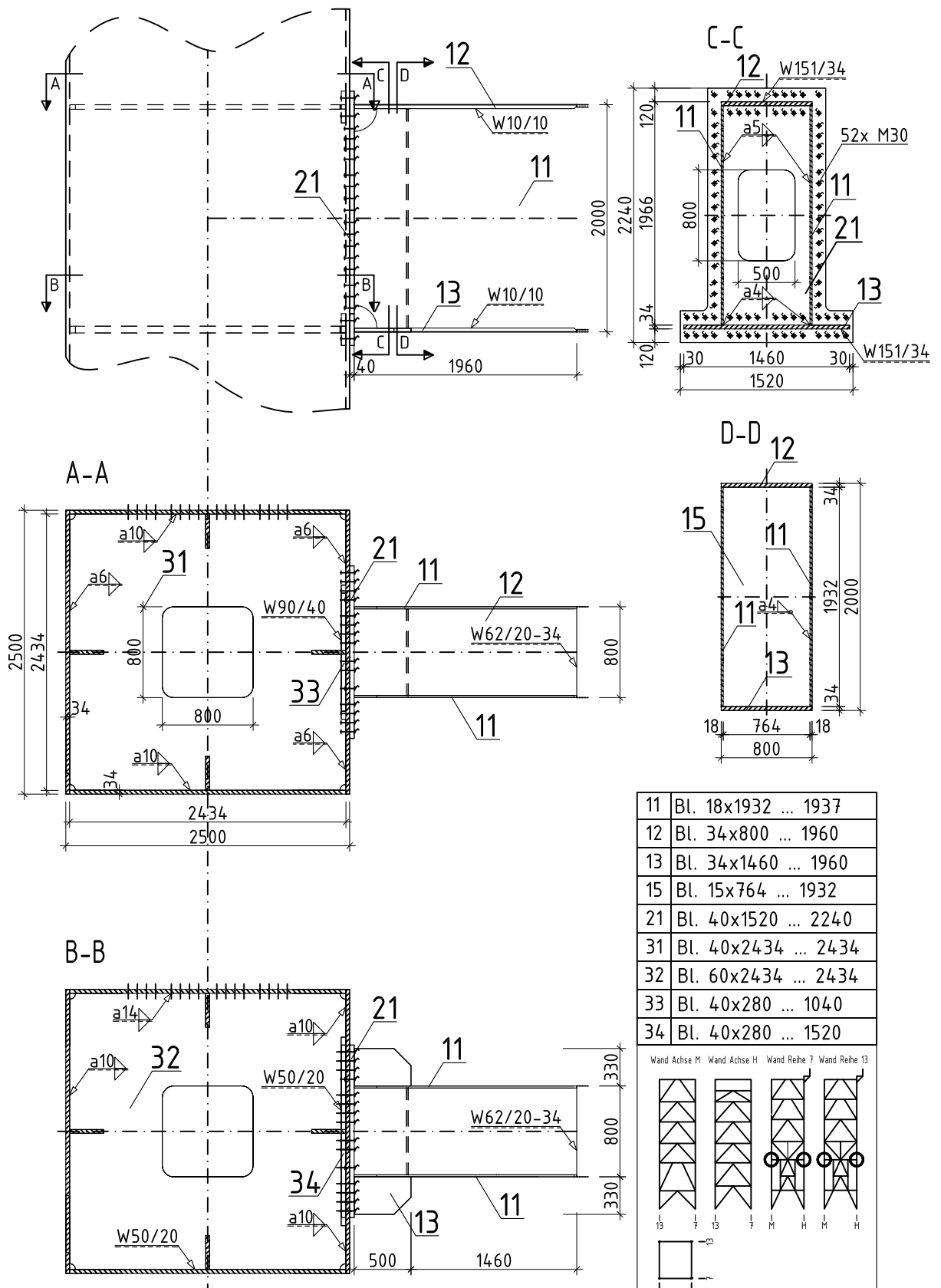
1. Schuss
2. Schuss
3. Schuss
4. Schuss
5. Schuss
6. Schuss

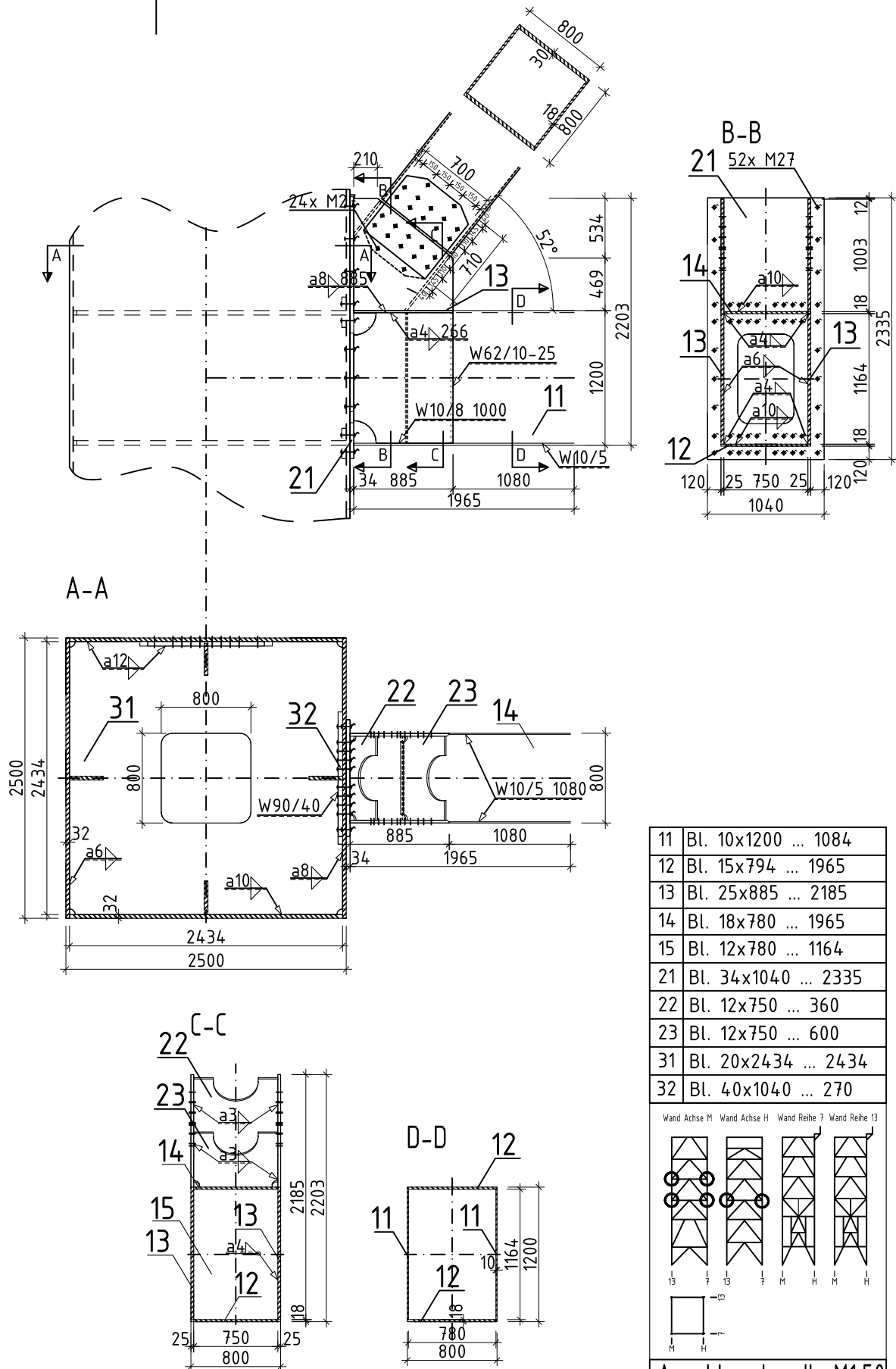
Wand 7		Wand 13	
0	Neustadt	15. 12. 09	
Revision	Name	Datum	Beschreibung
Darstellung	Zeichnungsnummer		Rev. /Ver.
Kesselgerüst Übersicht - MPP-B	MPP-B-2		0
	Maßstab		
	1: 500		

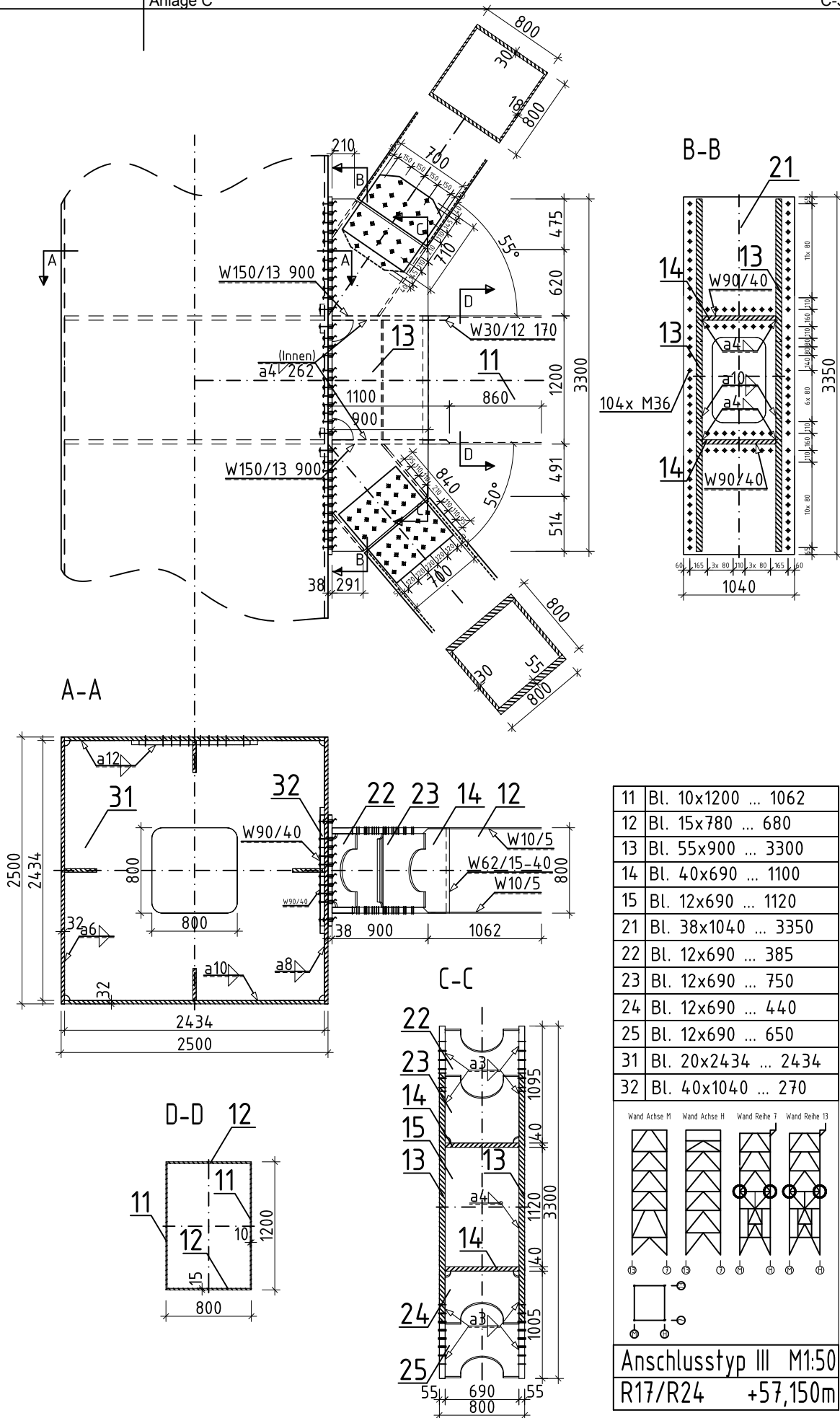
Anlage C

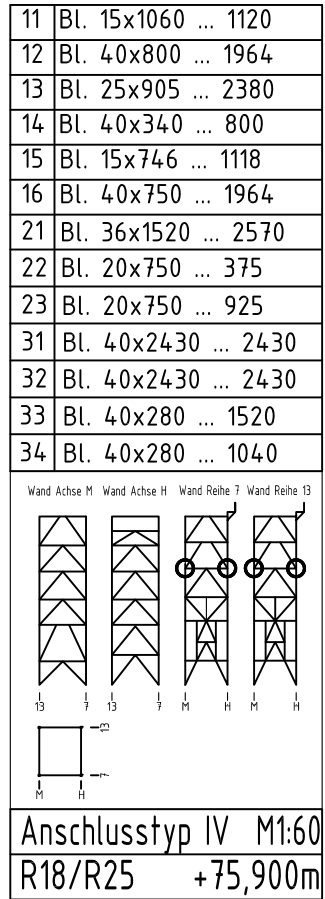
Zeichnung der Anschlüsse des Referenzobjekts Kesselgerüst Maasvlakte

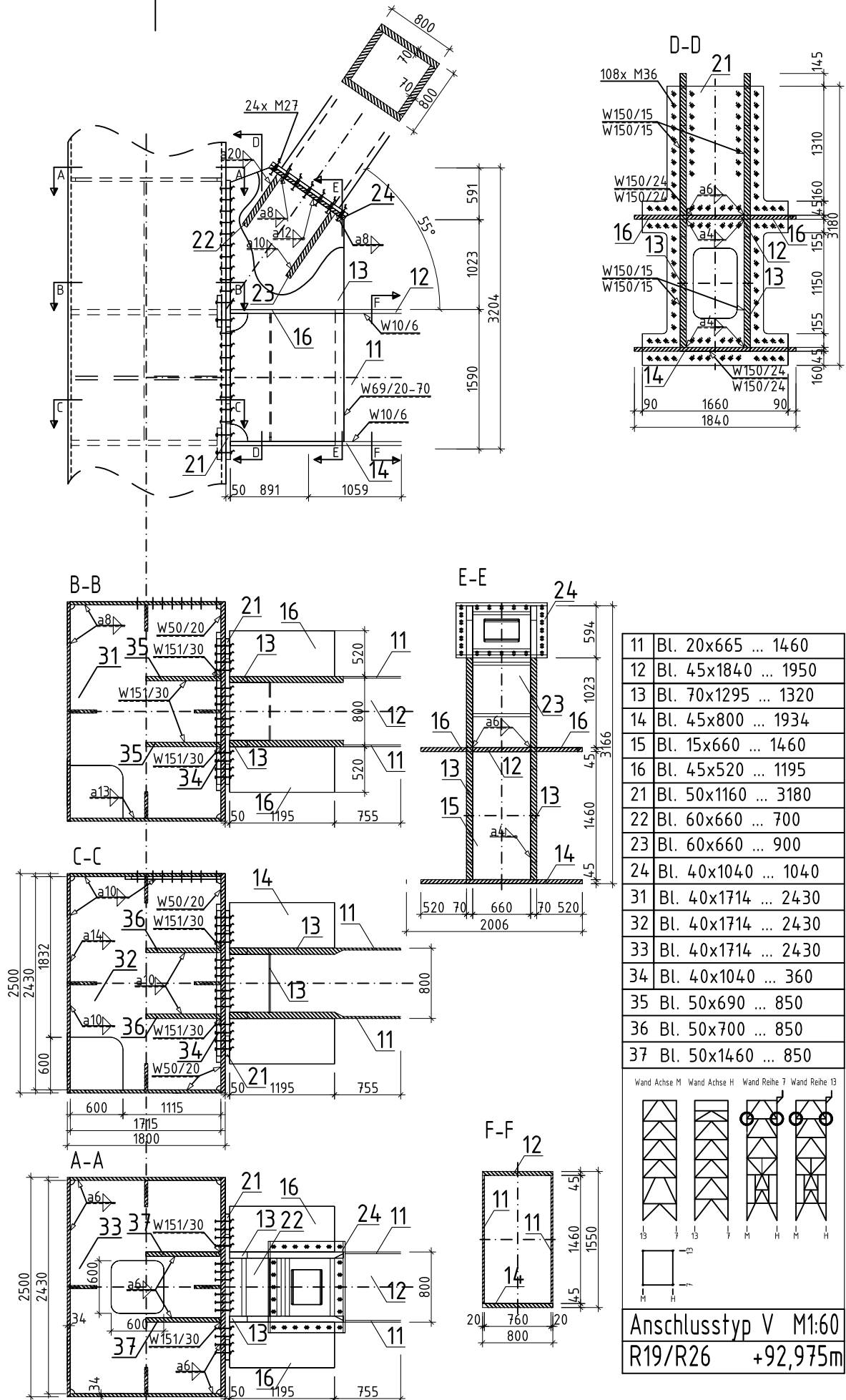
Inhalt	Seite
Anschluss Typ I	C-1
Anschluss Typ II	C-2
Anschluss Typ III	C-3
Anschluss Typ IV	C-4
Anschluss Typ V	C-5











Anlage D

Dokumentation der Berechnung der gelenkig angeschlossenen Riegel des Kesselgerüsts, entsprechend Kapitel 5.

Inhalt	Seite
Berechnung Anschlusstyp I	D-1 ... 10
Zeichnung Anschlusstyp I	D-11
Berechnung Anschlusstyp II	D-12 ... 22
Zeichnung Anschlusstyp II	D-23
Berechnung Anschlusstyp III	D-24 ... 34
Zeichnung Anschlusstyp III	D-35
Berechnung Anschlusstyp IV	D-36 ... 44
Zeichnung Anschlusstyp IV	D-45
Berechnung Anschlusstyp V	D-46 ... 55
Zeichnung Anschlusstyp V	D-56

D/I Berechnung Anschlusstyp I

Anschluss zur Stütze

▪ Abmessungen Riegel [1]

- $H_R = 2000\text{mm}$... Höhe Riegel
 $B_R = 800\text{mm}$... Breite Riegel
 $t_R = 34\text{mm}$... Wandstärke Riegelflansch
 $s_R = 40\text{mm}$... Wandstärke Riegelsteg
 $t_3 = 20\text{mm}$... Wandstärke Stegblech [3]

▪ Abmessungen Stütze

- $B_S = 2500\text{mm}$... Breite
 $t_S = 34\text{mm}$... Wandstärke

▪ Anschlussschnittkräfte an Stelle A

- $N_{d,Zug} = 2790\text{kN}$
 $N_{d,Druck} = 1710\text{kN}$
 $V_{z,d} = 2190\text{kN}$
 $V_{y,d} = 150\text{kN}$
 $M_{y,d} = 0\text{kNm}$
 $M_{z,d} = 1290\text{kNm}$
 $M_{T,d} = 730\text{kNm} \rightarrow V_{T,z,d} = \frac{M_{T,d}}{(B_R - s_R)} = 961\text{kN}$

▪ Schraubenbemessung

- $d = 27\text{mm}$... Schraubendurchmesser
 $\Delta d = 2\text{mm}$... Nennlochspiel
 10.9 ... Werkstoffgüte
 $a = 60\text{mm}$... Mindestabstand zum nächsten Bauteil

▪ Schraubenabstände

Die Abstände wurden in Anlehnung an die vorhandene Anschlussgestaltung ermittelt.

$$e_{R,min} = (d + \Delta d) \cdot 2 = 58\text{mm}$$

$$e_{H1,min} = a \cdot 2 + s_R = 160\text{mm}$$

→

$$e_{V3,min} = a \cdot 2 + t_3 = 135\text{mm}$$

$$e_{H3,min} = a \cdot 2 + t_S = 154\text{mm}$$

$$e_{R,gewählt} = 60\text{mm}$$

$$e_{H1,gewählt} = 160\text{mm}$$

$$e_{V2,gewählt} = e_{H1,gewählt} / 2 = 80\text{mm}$$

$$e_{H2,gewählt} = (B_R - (e_{H1} + s_R) - e_{H3}) / n_{HO} = 110\text{mm}$$

$$e_{V3,gewählt} = 160\text{mm}$$

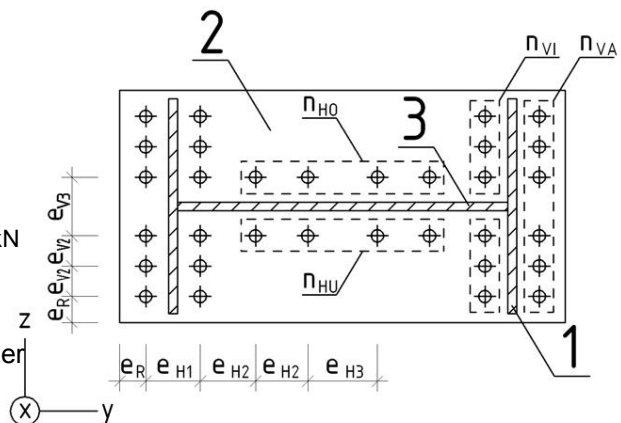
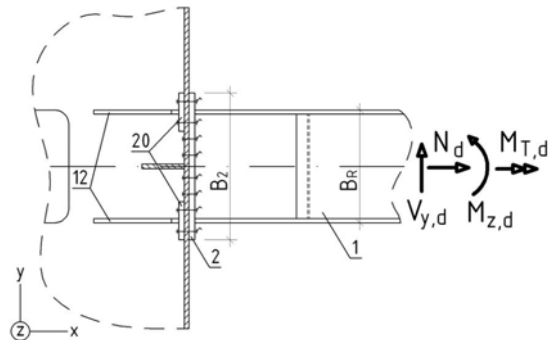
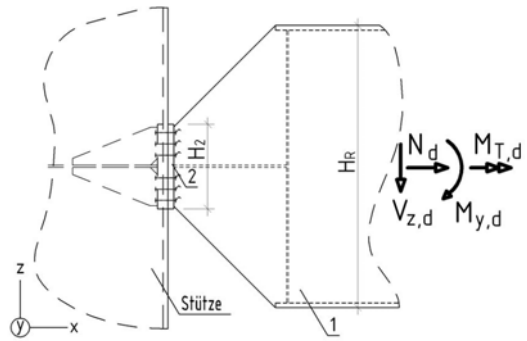
$$e_{H3,gewählt} = 160\text{mm}$$

$n_{VA} = 6$... Anzahl der Schrauben Vertikal Außen

$n_{VI} = 6$... Anzahl der Schrauben Vertikal Innen

$n_{HO} = 4$... Anzahl der Schrauben Horizontal Oben

$n_{HU} = 4$... Anzahl der Schrauben Horizontal Unten



▪ Abmessungen Stirnplatte [2]

$$H_2 = e_R \cdot 2 + e_{v2} \cdot (n_{VI} - 2) + e_{v3} = 600 \text{ mm}$$

$$B_2 = B_R + e_R \cdot 2 + (e_{h1} - s_R) = 1040 \text{ mm}$$

$$t_2 = 40 \text{ mm}$$

▪ Grenzwerte der Schrauben

$$N_{R,d} = 334 \text{ kN}$$

$$V_{a,R,d} = 287 \text{ kN}$$

$$V_{l,R,d} = \min t \cdot d \cdot \min \alpha_1 \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = 591 \text{ kN}$$

$$\alpha_1 = \min \left[\frac{1,1 \cdot e_R}{(d + \Delta d)} - 0,3 = 1,97 \right. \\ \left. \frac{1,08 \cdot e_{v2}}{(d + \Delta d)} - 0,77 = 2,20 \right]$$

$$f_{y,k} = 360 \text{ kN/mm}^2$$

$$\gamma_M = 1,1$$

... Höhe Stirnplatte

... Breite Stirnplatte

... Materialstärke

... Grenzzugkraft

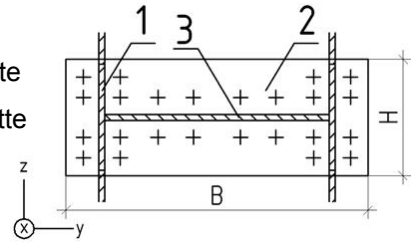
... Grenzabscherkraft

... Grenzlochleibung

... Beiwert für $e_2 \geq 1,5 \cdot d_L$ und $e_3 \geq 3,0 \cdot d_L$

... Streckgrenze von S355 mit $t \leq 40 \text{ mm}$

... Teilsicherheitsbeiwert



Die Grenzlochleibung wurde ohne Berücksichtigung der Vorspannung der Schrauben ermittelt. Die Grenzlochleibungskraft würde sich durch eine angesetzte Vorspannung der Schrauben erhöhen.

Nachweis der Schrauben

▪ Vertikale Schrauben

$$\frac{V_{z,d}}{2 \cdot (n_{VA} + n_{VI}) \cdot V_{a,R,d}} + \frac{V_{T,d}}{(n_{VA} + n_{VI}) \cdot V_{a,R,d}} = 0,60 < 1,0$$

$$\frac{V_{z,d}}{2 \cdot (n_{VA} + n_{VI}) \cdot V_{a,L,d}} + \frac{V_{T,d}}{(n_{VA} + n_{VI}) \cdot V_{a,L,d}} = 0,29 < 1,0$$

$$\frac{N_d}{n \cdot N_{R,d}} + \frac{N_{Mz,d}}{n_{Mz} \cdot N_{R,d}} = 0,68 < 1,0$$

$$\leftarrow n_{Mz} = n_{VA} + n_{VI} = 12$$

$$\leftarrow N_{Mz,d} = \frac{M_{z,d}}{B_R - s_R} = 1697 \text{ kN}$$

▪ Horizontale Schrauben

Die horizontalen Schrauben besitzen in dieser Betrachtung eher konstruktiven Charakter um sicherzustellen, dass die Normalkraft gleichmäßig über den gesamten Anschlussquerschnitt übertragen werden kann. Nur die Querkkräfte werden über diese Schrauben abgetragen.

Aufgrund der geringen Werte wird in den folgenden Anschlussvarianten auf eine ausführliche Darstellung der Nachweise verzichtet.

$$\frac{V_{y,d}}{(n_{HO} + n_{HU}) \cdot V_{a,R,d}} = 0,07 \leq 1,0$$

$$\frac{V_{y,d}}{(n_{HO} + n_{HU}) \cdot V_{l,R,d}} = 0,02 \leq 1,0$$

▪ Gesamte Schrauben

$$\frac{N_d}{n \cdot N_{R,d}} = 0,26 < 1,0$$

▪ Interaktionsnachweis

vertikale Schrauben (n_V)

$$\left(\frac{N_d}{n \cdot N_{R,d}} + \frac{N_{Mz,d}}{n_{Mz} \cdot N_{R,d}} \right)^2 + \left(\frac{V_{z,d}}{2 \cdot (n_{VA} + n_{VI}) \cdot V_{a,R,d}} + \frac{V_{T,d}}{(n_{VA} + n_{VI}) \cdot V_{a,R,d}} \right)^2 = 0,82 < 1,0$$

horizontale Schrauben (n_H)

$$\left(\frac{N_d}{n \cdot N_{R,d}} \right)^2 + \left(\frac{V_y}{(n_{HO} + n_{HU}) \cdot V_{I,R,d}} \right)^2 = 0,07 < 1,0$$

Grenzspannungen

$$\sigma_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = 32,72 \text{ kN/cm}^2 \quad \dots \text{ Grenznormalspannung}$$

$$\tau_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M} = 18,89 \text{ kN/cm}^2 \quad \dots \text{ Grenzscherbanspannung}$$

Nachweis der Stirnplatte [2]

$$D = 50 \text{ mm} \quad \dots \text{ Durchmesser Scheibe}$$

$$c_1 = \frac{e_{H1} - s_R}{2} - \frac{D + t_2}{4} = 3,78 \text{ cm} \quad \dots \text{ Abstand}$$

$$Z_d = \frac{A_{\text{Steg}}}{A_{\text{Gesamt}}} \cdot N_d + N_{Mz,d} = 282 \text{ kN} \quad \dots \text{ angreifende Zugkraft}$$

$$A_{\text{Steg}} = 224 \text{ cm}^2 \quad A_{\text{Gesamt}} = 592 \text{ cm}^2 \quad \dots \text{ Flächen Anschlussquerschnitt (siehe Schnitt 1-1)}$$

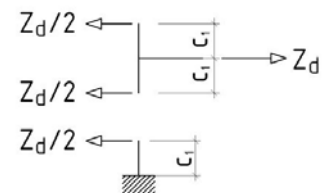
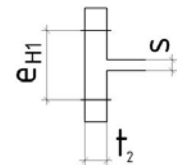
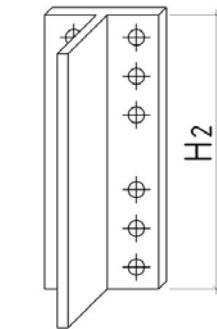
$$e_{\text{eff}} t_2 = \frac{V_t}{H_2 \cdot \tau_{R,d}} = 12,4 \text{ mm} < 40 \text{ mm} = t_2 \dots \text{ erforderliche Kopfplattendicke aus Schubkraft}$$

$$V_t = \frac{Z_d}{2} = 141 \text{ kN} \quad \dots \text{ Querkraft der Kopfplatte}$$

$$M_d = \frac{Z_d}{2} \cdot c_1 = 53,31 \text{ kNm} \quad \dots \text{ Biegemoment der Stirnplatte}$$

$$M_{pl,d} = \frac{1,1 \cdot \sigma_{R,d} \cdot H_2 \cdot t_2^2}{4} = 80,64 \text{ kNm} \quad \dots \text{ pl. Moment der Stirnplatte}$$

$$\frac{M_d}{M_{pl,d}} = 0,66 \leq 1,0$$



Verstärkung Stützenwand [20]

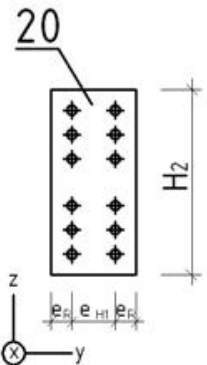
Innenliegend werden im Bereich der vertikalen Schrauben zusätzliche Bleche mit der Stützenwand verschweißt, um die Einleitung von Zugkräften durch die Schrauben zu kompensieren und somit die Stützenwand zu entlasten. Die Abmessungen werden konstruktiv in Anlehnung an die Stirnplatte gewählt.

▪ Abmessungen Verstärkungsbleche

$$H_{20} = e_R \cdot 2 + e_{v2} \cdot (n_{v1} - 2) + e_{v3} = 600 \text{ mm} \quad \dots \text{ Höhe Verstärkungsblech}$$

$$B_{20} = e_R \cdot 2 + e_{h1} = 280 \text{ mm} \quad \dots \text{ Breite Verstärkungsblech}$$

$$t_{20} = 40 \text{ mm} \quad \dots \text{ Materialstärke}$$



▪ Schweißnaht an Stützenwand

Die Schweißnahte wird entsprechend den Kräften aus den vertikalen Schrauben bemessen.

$$a_{20} = 8\text{mm}$$

... Schweißnahtdicke

$$l_{20} = H_{20} = 600\text{mm}$$

... Schweißnahtlänge

$$a_{\min} = \sqrt{t_{\max}} - 0,5 = 5,8\text{mm}$$

... minimale Schweißnahtstärke

$$a_{\max} = 0,7 \cdot t_{\min} = 23,8\text{mm}$$

... maximale Schweißnahtstärke

$$\tau_{a20,w,d} = \frac{V_{z,d}/2 + V_{T,d}}{2 \cdot l_{a20} \cdot a_{a20}} = 21,43\text{ kN/cm}^2 \dots \text{Schweißnahtschubspannung}$$

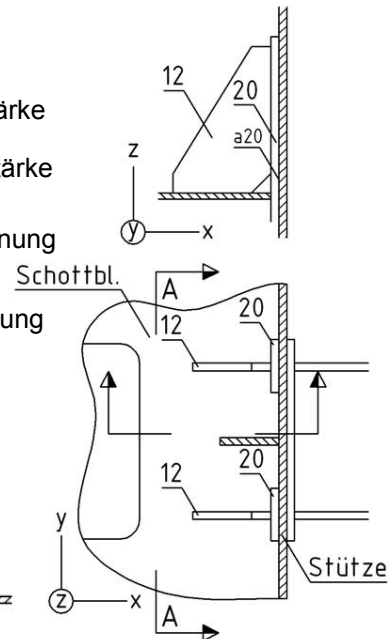
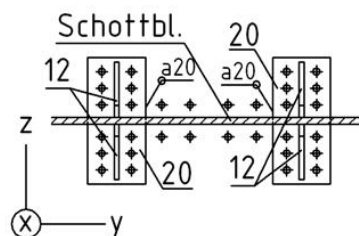
$$\sigma_{w,R,d} = 26,18\text{ kN/cm}^2$$

... Grenzschweißnahtspannung

$$\frac{\tau_{a20,w,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,81 < 1,0$$

... Nachweis

A-A

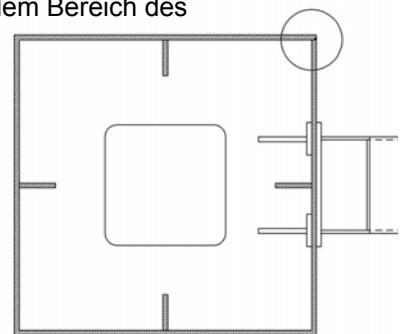
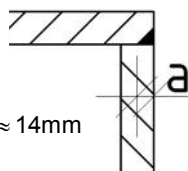


▪ Schweißnahtverbindung der Stützenwände

Die Schweißnähte der Stützenwände untereinander sind in dem Bereich des Riegelanschlusses größer auszuführen.

$$T = \frac{V_{y,d}}{B_s} + \frac{V_{z,d}/2 + V_{T,d}}{H_2} = 34,9\text{ kN/cm}$$

$$\tau_{w,d} = \frac{T}{a} \rightarrow \Delta a = \frac{T}{\tau_{w,d}} = \frac{T}{\sigma_{w,d}} = 1,33\text{cm} \approx 14\text{mm}$$



Für den Querschnittabschnitt S3 wurde in Kapitel 4 bzw. der dazugehörigen Statik (Seite VII-2) in der Anlage G eine Schweißnahtstärke von $a_{\text{eff}} = 4,2\text{mm}$ ermittelt. Somit ist die Naht in diesem Bereich mit $a = 18\text{mm}$ auszuführen.

Nachweis des Anschlussquerschnittes

Schnitt 1-1

$$H_{1-1} = H_2 - a_1 = 560\text{mm}$$

... Anschlusshöhe Schnitt 1-1

$$A_{\text{Gesamt}} = H_{1-1} \cdot B_R - ((H_{1-1} - t_3) \cdot (B_R - 2 \cdot s_R)) = 592\text{cm}^2 \dots \text{Anschlussquerschnitt im Schnitt 1-1}$$

$$A_{\text{Steg}} = H_{1-1} \cdot s_R = 224\text{cm}^2$$

... Anschlussfläche Steg [1] Schnitt 1-1

$$I_z = 709717\text{cm}^4$$

... Trägheitsmoment um Z-Achse

$$W_z = 13888\text{cm}^3$$

... Widerstandsmoment um Z-Achse

- Schnittkräfte an Stelle A (entsprechend der Schraubenbemessung)
- Spannung Stelle 1

$$\sigma_{1,d} = \frac{N_d}{A_{\text{Gesamt}}} = 4,71 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{1,d} = \frac{V_y \cdot S_z}{I_z \cdot t_3} = 1,98 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,1,d} = \sqrt{\sigma_{1,d}^2 + 3 \cdot \tau_{1,d}^2} = 5,83 \text{ kN/cm}^2$$

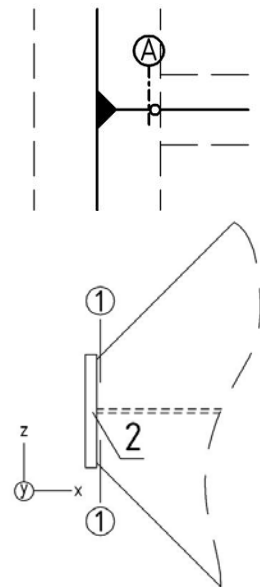
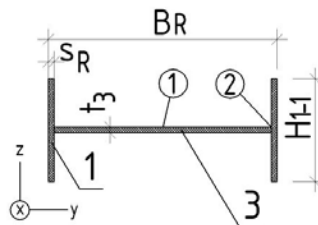
$$\frac{\sigma_{V,1,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,18 < 1,0$$

- Spannung Stelle 2

$$\sigma_{2,d} = \frac{N_d}{A_{\text{Gesamt}}} + \frac{M_z}{W_z} = 14,00 \text{ kN/cm}^2$$

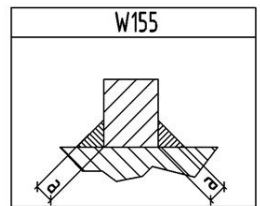
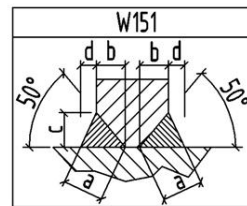
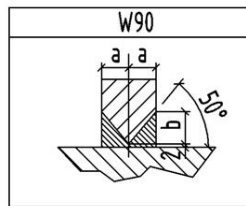
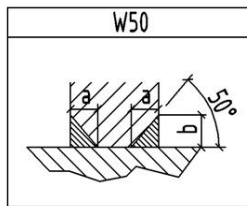
$$\tau_{2,d} = \frac{(V_{y,d} \cdot (B_R - s_R) \cdot H_{1-1})/4}{I_z} + \frac{1,5 \cdot V_z}{H_{1-1} \cdot s_R \cdot 2} + \frac{1,5 \cdot V_{T,d}}{H_{1-1} \cdot s_R} = 13,99 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,2,d} = \sqrt{\sigma_{2,d}^2 + 3 \cdot \tau_{2,d}^2} = 27,99 \text{ kN/cm}^2$$



Schweißverbindungen

Schweißverbindungen können bei diesen Anschlüssen als Kehlnaht oder K-Naht ausgeführt werden (siehe Anlage F).



- Schweißverbindung der Riegelstege [1] an die Stirnplatte [2]

$$a_1 = 12 \text{ mm}$$

$$l_1 = H_{1-1} = 560 \text{ mm}$$

$$a_{\min} = \sqrt{t_{\max}} - 0,5 = 5,8 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 0,7 \cdot t_{\min} = 28,0 \text{ mm}$$

$$N_{a1,d} = N_d \cdot \frac{A_{\text{Steg}}}{A_{\text{Gesamt}}} = 1056 \text{ kN}$$

$$\sigma_{a1} = \frac{N_{a1,d}}{2 \cdot l_1 \cdot a_1} + \frac{M_{z,d}/(B_R - s_R)}{2 \cdot l_1 \cdot a_1} = 20,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{a1} = \frac{V_{z,d}/2 + V_{T,d}}{2 \cdot l_1 \cdot a_1} = 15,29 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{a1,w,V,d} = \sqrt{\sigma_{a1}^2 + \tau_{a1}^2} = 25,56 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,R,d} = \alpha_W \cdot \frac{f_{y,k}}{1,1} = 26,18 \text{ kN/cm}^2$$

$$\alpha_W = 0,80$$

$$\frac{\sigma_{a1,w,V,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,98 < 1,0$$

... Schweißnahtdicke an Stegblechen

... Schweißnahtlänge

... minimale Schweißnahtstärke

... maximale Schweißnahtstärke

... anteilige Normalkraft

... Schweißnahtspannung

... Schweißnahtschubspannung

... Schweißnahtvergleichsspannung

... Grenzschweißnahtspannung

... Werkstoffbeiwert für S355

... Nachweis

▪ Schweißverbindung des Stegblechs [3] an die Stirnplatte [2]

$$a_2 = 6\text{mm}$$

$$a_{\min} = 5,8\text{mm}$$

$$l_2 = B_R - 2 \cdot s_R = 740\text{mm}$$

$$a_{\max} = 14,0\text{mm}$$

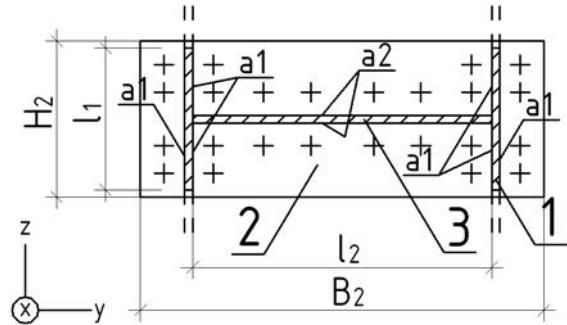
$$N_{a2,d} = N_d \cdot \frac{A_{\text{Gesamt}} - 2 \cdot A_{\text{Steg}}}{A_{\text{Gesamt}}} = 679\text{kN}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{N_{a2,d}}{2 \cdot l_2 \cdot a_2} = 7,85\text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{a2} = \frac{V_{y,d}}{2 \cdot l_2 \cdot a_2} = 1,74\text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{a2,w,V,d} = \sqrt{\sigma_{a2}^2 + \tau_{a2}^2} = 8,04\text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{a2,w,V,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,31 < 1,0$$



Nachweis des Stegblechs [3]

$$b_3 = B_R - 2 \cdot s_R = 720\text{mm}$$

... Breite

$$l_3 = 800\text{mm}$$

... Länge

$$t_3 = 20\text{mm}$$

... Materialstärke

$$N_{3,d} = N_d \cdot \frac{(A_{\text{Gesamt}} - 2 \cdot A_{\text{Steg}})}{A_{\text{Gesamt}}} = 679\text{kN} \dots \text{anteilige Normalkraft}$$

▪ Spannung Stelle 1

$$\sigma_{3,d} = \frac{N_{3,d}}{b_3 \cdot t_3} = 4,71\text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{3,d} = \frac{V_{y,d}}{b_3 \cdot t_3} = 1,04\text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{3,V,d} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = 5,05\text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{3,V,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,15 < 1,0$$

▪ Spannung Stelle 2

$$T_{3,d} = \frac{V_{y,d}}{b_3} = 2,08\text{ kN/cm}$$

$$\tau_{3,d} = \frac{N_{3,d}}{2 \cdot l_3 \cdot t_3} + \frac{T_{3,d}}{t_3} = 3,40\text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau_d}{\tau_{R,d}} = 0,18 < 1,0$$

▪ Schweißnaht des Stegblechs [3]

$$a_3 = 6\text{mm}$$

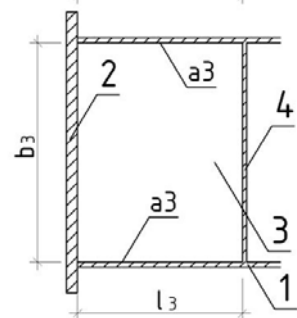
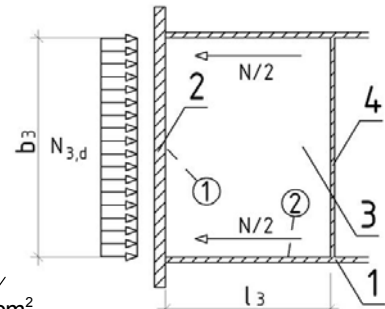
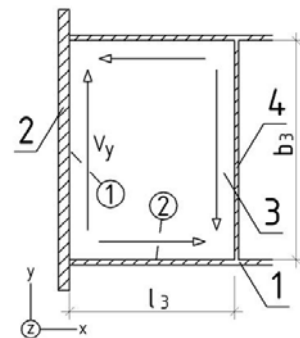
$$a_{\min} = 5,8\text{mm}$$

$$l_3 = 800\text{mm}$$

$$a_{\max} = 14,0\text{mm}$$

$$\tau_{a3,w,d} = \frac{N_{3,d}}{4 \cdot l_3 \cdot a_3} + \frac{T_{3,d}}{2 \cdot a_3} = 5,66\text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau_{a3,w,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,30 < 1,0$$



Nachweis des Schottblechs [4]

$$b_4 = B_R - 2 \cdot s_R = 720\text{mm}$$

$$h_{4,O} = h_{4,U} = 959\text{mm}$$

$$t_4 = 12\text{mm}$$

▪ Spannung

$$T_{4,d} = \frac{V_y}{2 \cdot b_4} = 1,04\text{ kN/cm}$$

$$\tau_{4,d} = \frac{T_{4,d}}{t_4} = 0,86\text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau_{4,d}}{\tau_{R,d}} = 0,05 < 1,0$$

▪ Schweißnaht an Schottblech [4]

$$a_4 = 6\text{mm}$$

$$a_{\min} = 5,8\text{mm}$$

$$l_4 = \frac{H_R}{2} - t_R - \frac{t_3}{2} = 959\text{mm}$$

$$a_{\max} = 8,4\text{mm}$$

$$\tau_{4,w,d} = \frac{T_{4,d}}{a_4} = 1,73\text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau_{4,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,06 < 1,0$$

Steifen in der Stütze

▪ Abmessungen Steife [12]

$$B_R = 800\text{mm} \quad \dots \text{Breite Riegel}$$

$$H_{1-1} = 560\text{mm} \quad \dots \text{Höhe Schnitt 1-1}$$

$$h_{12} = h_{12,ges} - c = 220\text{mm} \quad \dots \text{Anschlusslänge Höhe}$$

$$b_{12} = b_{12,ges} - c = 550\text{mm} \quad \dots \text{Anschlusslänge Breite}$$

$$h_{12,ges} = \frac{H_{1-1} - t_3}{2} = 270\text{mm} \quad \dots \text{Gesamthöhe}$$

$$b_{12,ges} = 600\text{mm} \quad \dots \text{Gesamtbreite}$$

$$t_{12} = 30\text{mm} \quad \dots \text{Wandstärke Flansch}$$

$$c = 50\text{mm} \quad \dots \text{Ausklinkung}$$

$$a = B_R - t_{12} = 770\text{mm} \quad \dots \text{Abstand Steifen}$$

▪ Schnittkräfte an der Stelle A

$$N_{d,Zug} = 2790\text{kN}$$

$$N_{d,Druck} = 1710\text{kN}$$

$$M_{z,d} = 1290\text{kNm}$$

$$N_{12,d} = \frac{N_d}{2} \cdot \frac{A_{Steg}}{A_{Gesamt}} = 528\text{kN} \quad \dots \text{anteilige Normalkraft}$$

$$F_{X,12} = q_x \cdot h_{12,ges} = N_{12,d} + \frac{M_{z,d}}{2 \cdot a} = 1365\text{kN} \quad \dots \text{Kraft in X-Richtung}$$

$$F_{Z,12} = \frac{F_{X,12} \cdot \left(c + \frac{h_{12}}{2}\right)}{\left(c + \frac{2}{3}b_{12}\right)} = 606\text{kN} \quad \dots \text{Kraft in Y-Richtung}$$

▪ Spannungen Stelle 1

$$\sigma_{1,d} = \frac{F_{X,12}}{h_{12} \cdot t_{12}} = 20,68\text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{1,d} = \frac{F_{Z,12}}{h_{12} \cdot t_{12}} = 9,18\text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{1,v,d} = \sqrt{\sigma_{1,d}^2 + 3 \cdot \tau_{1,d}^2} = 26,08\text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{1,v,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,79 < 1,0$$

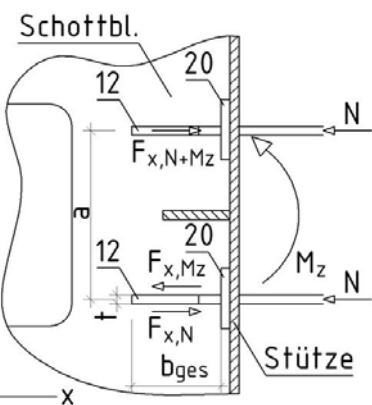
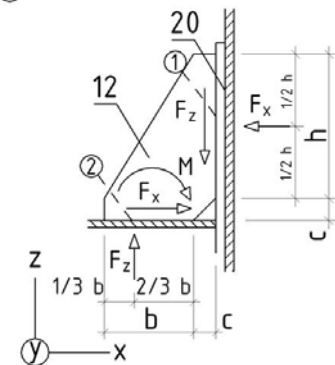
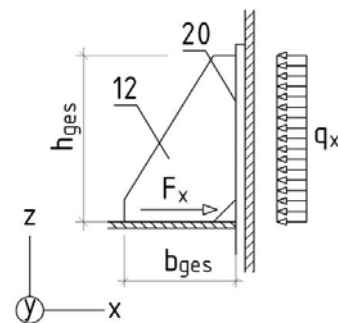
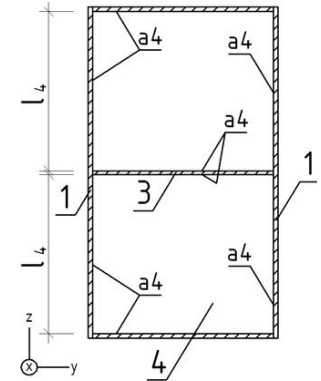
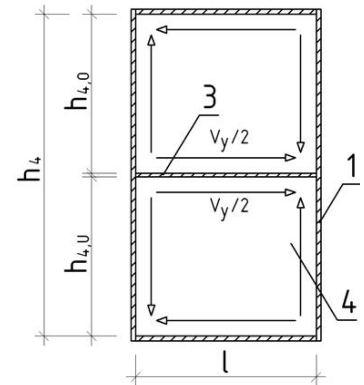
▪ Spannung Stelle 2

$$\sigma_{2,d} = \frac{F_{Z,12}}{b_{12} \cdot t_{12}} + \frac{F_{Z,12} \cdot \left(\frac{2}{3} - \frac{1}{2}\right) \cdot b \cdot 6}{b_{12}^2 \cdot t_{12}} = 6,34\text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{2,d} = \frac{F_{X,12}}{b_{12} \cdot t_{12}} = 7,34\text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{2,v,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,43 < 1,0$$

$$\sigma_{2,v,d} = \sqrt{\sigma_{2,d}^2 + 3 \cdot \tau_{2,d}^2} = 14,21\text{ kN/cm}^2$$



▪ Schweißnähte a₁₂

$$a_{12} = 14\text{mm} \quad a_{\min} = 5,3\text{mm}$$

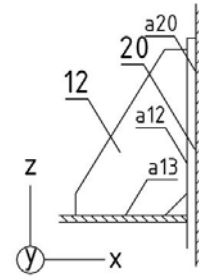
$$l_{12} = h_{12} = 220\text{mm} \quad a_{\max} = 21,0\text{mm}$$

$$\sigma_{a12,w,d} = \frac{F_{x,12}}{2 \cdot h_{12} \cdot a_{12}} = 22,16 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{a12,w,d} = \frac{F_{z,12}}{2 \cdot h_{12} \cdot a_{12}} = 9,83 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{a12,w,V,d} = \sqrt{\sigma_{a12,w,d}^2 + \tau_{a12,w,d}^2} = 24,24 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{a12,w,V,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,92 < 1,0$$



▪ Schweißnähte a₁₃

$$a_{13} = 8\text{mm} \quad a_{\min} = 5,0\text{mm}$$

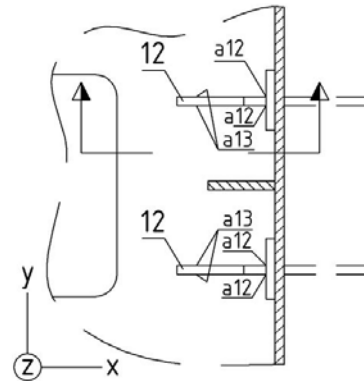
$$l_{13} = b_{12} = 550\text{mm} \quad a_{\max} = 10,5\text{mm}$$

$$\sigma_{a13,w,d} = \frac{F_{z,12}}{2 \cdot b_{12} \cdot a_{13}} + \frac{F_{z,12} \cdot (\frac{2}{3} - \frac{1}{2}) \cdot b \cdot 6}{2 \cdot b_{12}^2 \cdot a_{13}} = 13,77 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{a13,w,d} = \frac{F_{x,12}}{2 \cdot b_{12} \cdot a_{13}} = 15,51 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{a13,w,V,d} = \sqrt{\sigma_{a13,w,d}^2 + \tau_{a13,w,d}^2} = 20,74 \text{ kN/cm}^2$$

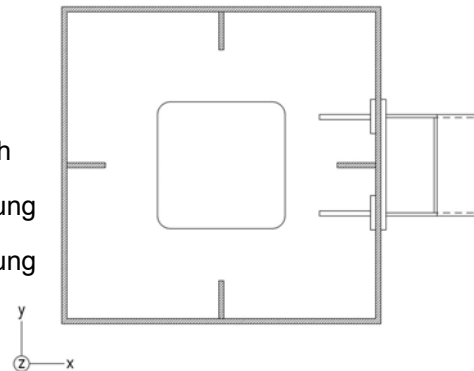
$$\frac{\sigma_{a13,w,V,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,79 < 1,0$$



Schottblech

▪ Abmessungen Schottblech

$L_S = 2434\text{mm}$... Länge Schottblech
$B_S = 2434\text{mm}$... Breite Schottblech
$t_S = 20\text{mm}$... Materialstärke Schottblech
$b_X = 800\text{mm}$... Breite Öffnung in X-Richtung
$b_Y = 800\text{mm}$... Breite Öffnung in Y-Richtung
$B_R = 800\text{mm}$... Breite Riegel



▪ Schnittkräfte an Stelle A

R16/R23

$$N_{x,d,Zug} = 2790\text{kN}$$

$$N_{x,d,Druck} = 1710\text{kN}$$

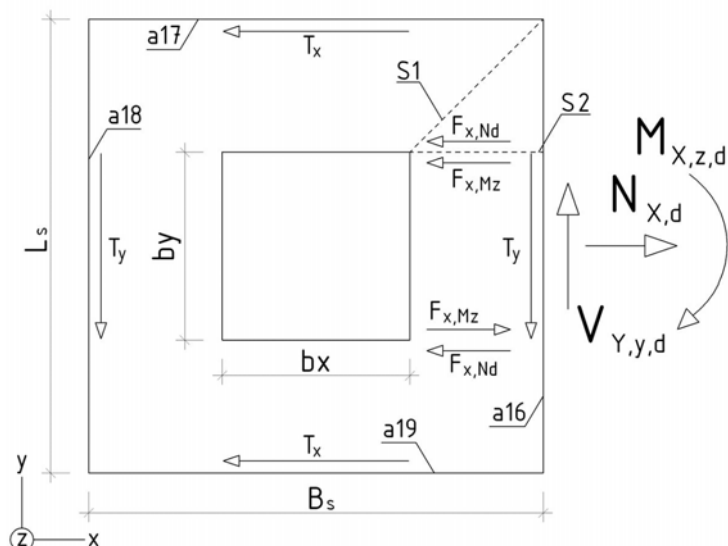
$$V_{y,y,d} = 150\text{kN}$$

$$M_{x,z,d} = 1290\text{kNm}$$

▪ Schubkräfte

$$T_x = \frac{N_x}{2} + \frac{M_{x,z,d}}{B_R} = 3008\text{kN}$$

$$T_y = V_y = 150\text{kN}$$



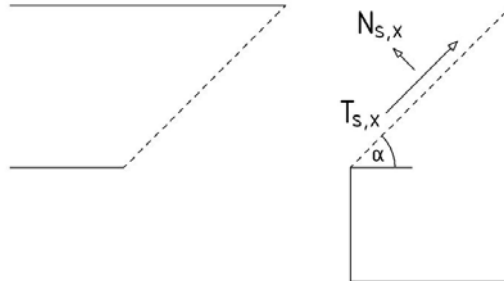
▪ Schnitt S1

$$s = \sqrt{\left(\frac{B_s - b_y}{2}\right)^2 + \left(\frac{L_s - b_x}{2}\right)^2} = 1154 \text{ mm} \quad \dots \text{Schnittlänge}$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{(B_s - b_y)/2}{(L_s - b_x)/2}\right) = 45^\circ \quad \dots \text{Schnittwinkel}$$

$$\sin \alpha = \left(\frac{(B_s - b_y)/2}{s}\right) = 0,707$$

$$\cos \alpha = \left(\frac{(L_s - b_x)/2}{s}\right) = 0,707$$



▪ Bemessung

$$N_{SX,d} = \left(N_{X,d}/2 + M_{X,z,d}/B_R\right) \cdot \sin \alpha + T_y/2 \cdot \cos \alpha = 2180 \text{ kN}$$

$$T_{SX,d} = \left(N_{X,d}/2 + M_{X,z,d}/B_R\right) \cdot \cos \alpha + T_y/2 \cdot \sin \alpha = 2180 \text{ kN}$$

▪ Spannungen im Schnitt S1

$$\sigma_{S,d} = \frac{N_{SX,d}}{t_{SBI} \cdot s} = 9,44 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_{S,d} = \frac{T_{SX,d}}{t_{SBI} \cdot s} = 9,44 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,S,d} = \sqrt{\sigma_{2,d}^2 + 3 \cdot \tau_{2,d}^2} = 18,9 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{V,S,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,58 < 1,0$$

▪ Spannungen an Schnitt S2

$$\sigma_{S,d} = \frac{T_y}{(B_s - b_x)/2 \cdot t_{SBI}} + \frac{T_x \cdot (B_s - b_x)/2}{B_s \cdot (B_s - b_x)/2 \cdot t_{SBI}} = 7,10 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{S,d} = \frac{T_x}{(B_s - b_x)/2 \cdot t_{SBI}} = 18,40 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,S,d} = \sqrt{\sigma_{2,d}^2 + 3 \cdot \tau_{2,d}^2} = 32,65 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau_{S,d}}{\tau_{R,d}} = 0,97 < 1,0$$

$$\frac{\sigma_{V,S,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,99 < 1,0$$

▪ Spannungen an Stelle a17

$$\tau_{S,d} = \frac{T_{SX,d}}{t_{SBI} \cdot B_s} = 12,35 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\tau_{SX,d}}{\tau_{R,d}} = 0,65 < 1,0$$

Schweißnähte Schottblech

Die Schweißnähte der Schottbleche an die Stützenwände werden als Kehlnähte ausgeführt.

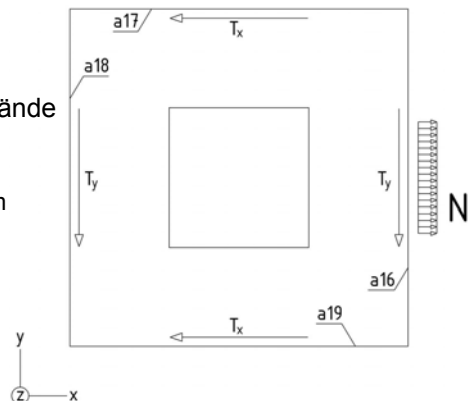
$$a_{\min} = 5,3 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 14,0 \text{ mm}$$

$$a_{16} = 6 \text{ mm}$$

$$l_{16} = 1040 \text{ mm}$$

$$N_{a16,d} = N_{X,d} \cdot \frac{(A_{\text{Gesamt}} - 2 \cdot A_{\text{Steg}})}{A_{\text{Gesamt}}} = 679 \text{ kN}$$



$$\sigma_{a16,w,d} = \frac{N_{a16,d}}{2 \cdot l_{16} \cdot a_{16}} = 5,44 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{a16,w,d} = \frac{T_Y}{2 \cdot l_{16} \cdot a_{16}} + \frac{T_X \cdot (B_S - b_x) / 2}{B_S \cdot l_{16} \cdot a_{16}} = 8,11 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{a16,w,V,d} = \sqrt{\sigma_{a16,w,d}^2 + \tau_{a16,w,d}^2} = 9,76 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{a16,w,V,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,37 < 1,0$$

$$a_{17} = 6 \text{ mm}$$

$$l_{17} = 2432 \text{ mm}$$

$$\tau_{a17,w,d} = \frac{T_X}{2 \cdot l_{17} \cdot a_{17}} = 10,30 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau_{a17,w,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,39 < 1,0$$

$$a_{18} = 6 \text{ mm}$$

$$l_{18} = 2432 \text{ mm}$$

$$\tau_{a18,w,d} = \frac{T_Y}{2 \cdot l_{18} \cdot a_{18}} + \frac{T_X \cdot (B_S - b_x)}{2 \cdot B_S \cdot l_{16} \cdot a_{16}} = 7,42 \text{ kN/cm}^2$$

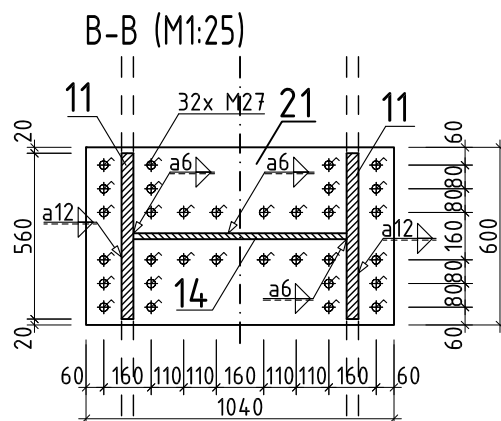
$$\frac{\tau_{a18,w,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,28 < 1,0$$

$$a_{19} = 6 \text{ mm}$$

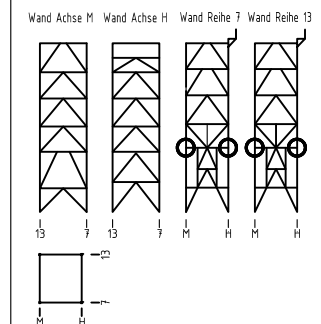
$$l_{19} = 2432 \text{ mm}$$

$$\tau_{a19,w,d} = \frac{T_X}{2 \cdot l_{19} \cdot a_{19}} = 10,30 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau_{a19,w,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,39 < 1,0$$



11	Bl. 40x2000 ... 1970
12	Bl. 34x740 ... 1250
14	Bl. 20x800 ... 740
15	Bl. 12x740 ... 1932
21	Bl. 40x1040 ... 600
31	Bl. 20x2434 ... 2434
32	Bl. 30x600 ... 270
33	Bl. 40x280 ... 600



Anschlusstyp	I M1:50
R16/R23	+41,750m

D/II Berechnung Anschlusstyp II

Anschluss zur Stütze

▪ Abmessungen Riegel [1]

$$H_R = 1200\text{mm}$$

$$B_R = 800\text{mm}$$

$$t_R = 18\text{mm}$$

$$s_R = 40\text{mm}$$

$$t_3 = 15\text{mm}$$

▪ Abmessungen Stütze

$$B_S = 2500\text{mm}$$

$$t_S = 32\text{mm}$$

▪ Anschlussschnittkräfte an Stelle A

$$N_{d,Zug} = 2330\text{kN}$$

$$N_{d,Druck} = 4110\text{kN}$$

$$V_{z,d} = 6760\text{kN}$$

$$V_{y,d} = 110\text{kN}$$

$$M_{y,d} = 0\text{kNm}$$

$$M_{z,d} = 810\text{kNm}$$

$$M_{T,d} = 1080\text{kNm} \rightarrow V_{T,z,d} = \frac{M_{T,d}}{B_R} = 1421\text{kN}$$

▪ Schraubenbemessung

$$d = 30\text{mm} \quad \Delta d = 2\text{mm}$$

$$10.9 \quad a = 66\text{mm}$$

▪ Schraubenabstände

$$e_{R,min} = 64\text{mm}$$

$$e_{H1,min} = 172\text{mm}$$

$$e_{V3,min} = 147\text{mm}$$

$$e_{H3,min} = 164\text{mm}$$

$$e_{R,gewählt} = 65\text{mm}$$

$$e_{H1,gewählt} = 180\text{mm}$$

$$e_{V2,gewählt} = 75\text{mm}$$

$$e_{H2,gewählt} = 103\text{mm}$$

$$e_{V3,gewählt} = 150\text{mm}$$

$$e_{H3,gewählt} = 170\text{mm}$$

$$e_{H4,gewählt} = 110\text{mm}$$

$$n_{VA1} = 6$$

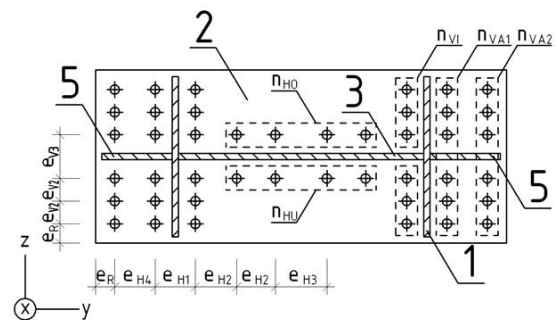
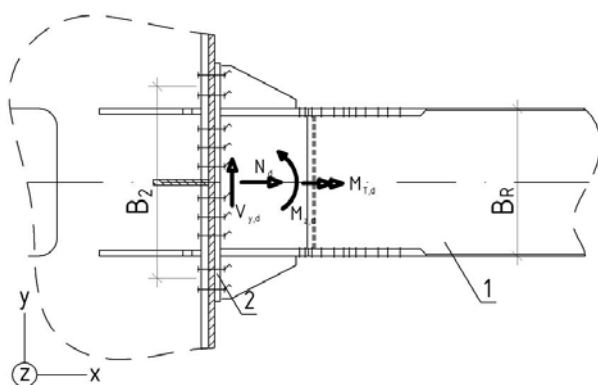
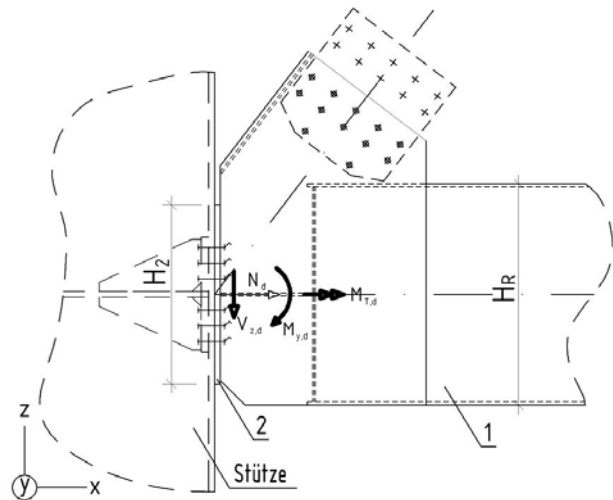
$$n_{VA2} = 6$$

$$n_{V1} = 6$$

$$n_{H0} = 4$$

$$n_{HU} = 4$$

→ über diese Schrauben werden nur Querkräfte V_z und V_T übertragen

**Abmessungen Stirnplatte [2]**

$$H_{2,min} = e_R \cdot 2 + e_{V2} \cdot (n_{V1} - 2) + e_{V3} = 580\text{mm} \quad (\text{rechnerisch})$$

$$H_2 = 1000\text{mm}$$

$$B_2 = B_R + e_R \cdot 2 + (e_{H1} - s_R) + 2 \cdot e_{H4} = 1290\text{mm}$$

$$t_2 = 40\text{mm}$$

Grenzwerte der Schrauben

$$N_{R,d} = 408\text{kN}$$

$$V_{a,R,d} = 354\text{kN}$$

$$V_{I,R,d} = 606\text{kN}$$

Nachweis der Schrauben

▪ vertikale Schrauben

$$\frac{V_{z,d}}{2 \cdot (n_{VA1} + n_{VA2} + n_{VI}) \cdot V_{a,R,d}} + \frac{V_{T,d}}{(n_{VA1} + n_{VA2} + n_{VI}) \cdot V_{a,R,d}} = 0,75 < 1,0$$

$$\frac{V_{z,d}}{2 \cdot (n_{VA1} + n_{VA2} + n_{VI}) \cdot V_{a,L,d}} + \frac{V_{T,d}}{(n_{VA1} + n_{VA2} + n_{VI}) \cdot V_{a,L,d}} = 0,44 < 1,0$$

$$\frac{N_d}{(n_{VA1} + n_{VI} + n_{HO} + n_{HU}) \cdot N_{R,d}} + \frac{N_{Mz,d}}{n_{Mz} \cdot N_{R,d}} = 0,53 < 1,0$$

$$\leftarrow n_{Mz} = n_{VA} + n_{VI} = 12$$

$$\leftarrow N_{Mz,d} = \frac{M_{z,d}}{B_R - s_R} = 1066 \text{ kN}$$

▪ horizontale Schrauben

$$\frac{V_{y,d}}{(n_{HO} + n_{HU}) \cdot V_{a,R,d}} = 0,05 \leq 1,0$$

$$\frac{V_{y,d}}{(n_{HO} + n_{HU}) \cdot V_{a,L,d}} = 0,03 \leq 1,0$$

▪ gesamte Schrauben

$$\frac{N_d}{(n_{VA1} + n_{VI} + n_{HO} + n_{HU}) \cdot N_{R,d}} = 0,31 < 1,0$$

▪ Interaktionsnachweis

vertikale Schrauben (n_V)

$$\left(\frac{N_d}{(n_{VA1} + n_{VI} + n_{HO} + n_{HU}) \cdot N_{R,d}} + \frac{N_{Mz,d}}{n_{Mz} \cdot N_{R,d}} \right)^2 + \left(\frac{V_{z,d}}{2 \cdot (n_{VA1} + n_{VA2} + n_{VI}) \cdot V_{a,R,d}} + \frac{V_{T,d}}{(n_{VA1} + n_{VA2} + n_{VI}) \cdot V_{a,R,d}} \right)^2 = 0,84 < 1,0$$

horizontale Schrauben (n_H)

$$\left(\frac{N_d}{(n_{VA1} + n_{VI} + n_{HO} + n_{HU}) \cdot N_{R,d}} \right)^2 + \left(\frac{V_y}{(n_{HO} + n_{HU}) \cdot V_{a,R,d}} \right)^2 = 0,10 < 1,0$$

Nachweis der Stirnplatte [2]

$D = 56 \text{ mm}$

... Durchmesser Scheibe

$$c_1 = \frac{e_{H1} - s_R}{2} - \frac{D + t_2}{4} = 4,97 \text{ cm} \quad \text{... Abstand}$$

$$Z_d = \frac{A_{\text{Steg}}}{A_{\text{Gesamt}}} \cdot N_d + N_{Mz,d} = 2540 \text{ kN} \quad \text{... angreifende Zugkraft}$$

$$A_{\text{Steg}} = 232 \text{ cm}^2 \quad A_{\text{Gesamt}} = 647 \text{ cm}^2 \quad \text{... Flächen Anschlussquerschnitt (siehe Schnitt 1-1)}$$

$$\text{erf } t_2 = \frac{V_t}{H_2 \cdot \tau_{R,d}} = 11,6 \text{ mm} < 25 \text{ mm} = t_2 \quad \text{... erforderliche Kopfplattendicke aus Schubkraft}$$

$$V_t = \frac{Z_d}{2} = 1270 \text{ kN} \quad \text{... Querkraft der Kopfplatte}$$

$$M_d = \frac{Z_d}{2} \cdot c_1 = 63,12 \text{ kNm} \quad \text{... Biegemoment der Stirnplatte}$$

$$M_{pl,d} = \frac{1,1 \cdot \sigma_{R,d} \cdot H_2 \cdot t_2^2}{4} = 83,52 \text{ kNm} \quad \text{... pl. Moment der Stirnplatte}$$

$$\frac{M_d}{M_{pl,d}} = 0,75 \leq 1,0$$

Grenzspannungen

$$\sigma_{R,d} = 32,72 \text{ kN/cm}^2$$

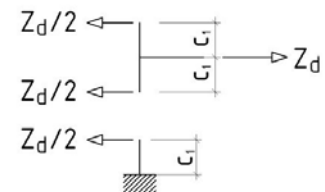
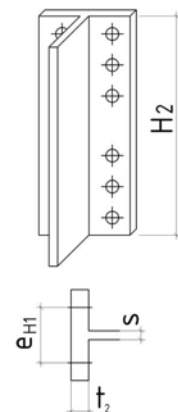
$$\tau_{R,d} = 18,89 \text{ kN/cm}^2$$

... für $t \leq 40 \text{ mm}$

$$\sigma_{R,d} = 29,54 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{R,d} = 17,05 \text{ kN/cm}^2$$

... für $t > 40 \text{ mm}$



Verstärkung Stützenwand [21]

▪ Abmessungen Verstärkungsblech

$$H_{21} = H_{2,min} = 580\text{mm} \quad \dots \text{Höhe Verstärkungsblech}$$

$$B_{21} = B_S - 2 \cdot t_S = 2436\text{mm} \quad \dots \text{Breite Verstärkungsblech}$$

$$t_{21} = 40\text{mm} \quad \dots \text{Materialstärke}$$

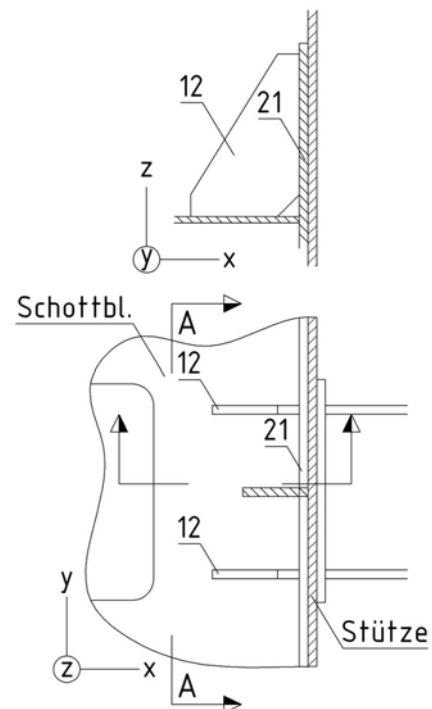
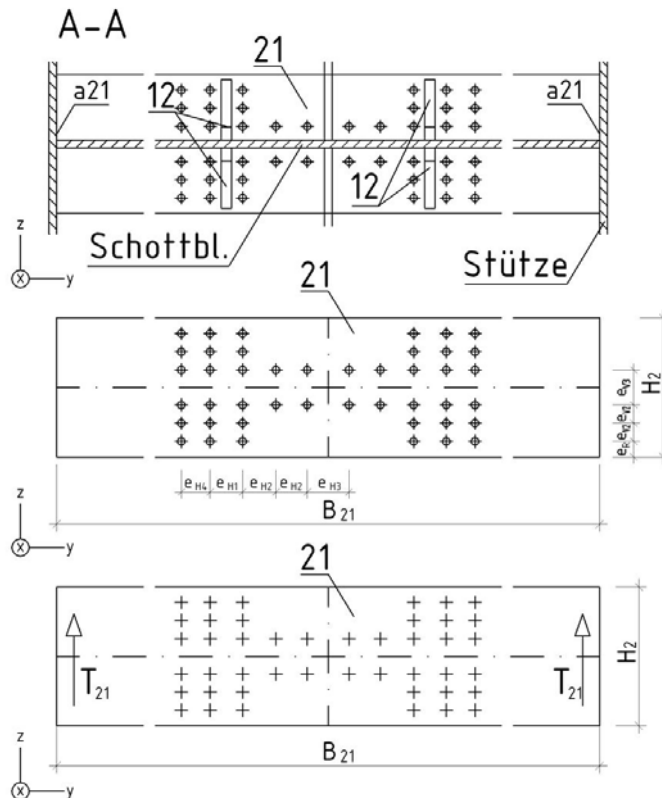
Verstärkungsblech wird in den Stützen über die Gesamte Breite geführt und an den angrenzenden Wandblechen voll angeschlossen, um die resultierenden Schubkräfte aus den angeschlossenen Querkraften des Riegels abzutragen.

▪ Schweißnähte an Stützenwand

Die Schweißnähte an die Stützenwand werden konstruktiv ohne weiteren Nachweis, nach der Mindestnachtdicke bemessen.

$$a_{min} = 5,8\text{mm} \quad \rightarrow \quad a = 6\text{mm}$$

▪ Schweißnahtverbindung der Stützenwände



$$T_{21} = \frac{V_{y,d}}{B_S} + \frac{V_{z,d}/2 + V_{T,d}}{H_{2,min}} = 83,21\text{kN/cm}$$

$$\tau_d = \frac{T_{21}}{t_{11} + t_S} = \frac{83\text{kN/cm}}{4\text{cm} + 3,2\text{cm}} = 11,52\text{kN/cm}^2 < \tau_{R,d} = 18,89\text{kN/cm}^2$$

$$\tau_{w,d} = \frac{T_{21}}{a_{21}} = \frac{83\text{kN/cm}}{4\text{cm}} = 20,75\text{kN/cm}^2 < \tau_{w,R,d} = 26,18\text{kN/cm}^2$$

Für den Querschnittabschnitt S4 wurde in Kapitel 4 bzw. der dazugehörigen Statik (Seite VII-2) in der Anlage eine Schweißnahtstärke des Stützenquerschnittes von $a_{\text{erf}} = 4,6\text{mm} \approx 5\text{mm}$ ermittelt. Diese Schweißnaht wird nicht erhöht.

Das Verstärkungsblech wird über den gesamten Querschnitt angeschlossen $a_{21} = t_{21}$.

Schweißverbindungen

- Schweißverbindung der Riegelstege [1] an die Stirnplatte [2]

Die Ausführung der Schweißnähte kann als Kehlnaht oder als K-Naht erfolgen (siehe Abs. D/I).

$$\begin{aligned}
 a_1 &= 12\text{mm} & a_{\min} &= 5,8\text{mm} & a_{\max} &= 28,0\text{mm} \\
 l_1 &= H_{1-1} = 980\text{mm} & N_{a1,d} &= 1800\text{kN} \\
 \sigma_{a1} &= 12,31\text{kN/cm}^2 & \tau_{a1} &= 20,62\text{kN/cm}^2 & \sigma_{a1,w,V,d} &= 24,02\text{kN/cm}^2 \\
 \frac{\sigma_{a1,w,V,d}}{\sigma_{w,R,d}} &= 0,92 < 1,0
 \end{aligned}$$

- Schweißverbindung des Stegblechs [3] an die Stirnplatte [2]

$$\begin{aligned}
 a_2 &= 6\text{mm} & a_{\min} &= 5,8\text{mm} & a_{\max} &= 10,5\text{mm} \\
 l_2 &= 720\text{mm} & N_{a2,d} &= 511\text{kN} \\
 \sigma_{a2} &= 7,10\text{kN/cm}^2 & \tau_{a2} &= 1,53\text{kN/cm}^2 & \sigma_{a2,w,V,d} &= 7,26\text{kN/cm}^2 \\
 \frac{\sigma_{a2,w,V,d}}{\sigma_{w,R,d}} &= 0,28 < 1,0
 \end{aligned}$$

Nachweis des Stegblechs [3]

$$\begin{aligned}
 b_3 &= 720\text{mm} & l_3 &= 500\text{mm} & t_3 &= 15\text{mm} \\
 N_{3,d} &= 511\text{kN}
 \end{aligned}$$

- Spannung Stelle 1 und 2

→ aufgrund der geringen Ausnutzung, maßgebende Stelle 2 $\tau_d/\tau_{R,d} = 0,23 < 1,0$, und der geringen Relevanz für den Gesamtnachweis des Anschlusses wird der Nachweis nicht ausführlich dokumentiert

- Schweißnaht des Stegblechs [3]

→ konstruktiv $a_3 = 6\text{mm}$, aufgrund der oben beschriebenen geringen Ausnutzung wird hier die Mindestnahtdicke ($a_{\min} = 5,8\text{mm}$) angesetzt.

Nachweis der Steife an der Stirnplatte [7]

→ wird aus konstruktiven Gründen angeordnet um die Stirnplatte auszusteifen. Die Schweißnähte an Stirnplatte und Riegelstege entsprechen denen des Stegblechs [3]

- Abmessungen Steife [7]

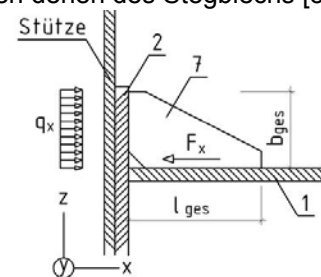
$$\begin{aligned}
 b_{7,ges} &= \frac{B_2 - B_R - (2 \cdot 15\text{mm})}{2} = 230\text{mm} & b_7 &= b_{7,ges} - c = 180\text{mm} \\
 l_{7,ges} &= 400\text{mm} & l_7 &= l_{7,ges} - c = 350\text{mm} \\
 t_{12} &= 15\text{mm} & c &= 50\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$A_{\text{Gesamt}} = 641\text{cm}^2$$

$$A_7 = b_7 \cdot t_7 = 27\text{cm}^2$$

... rechnerischer Anschlussquerschnitt (siehe Schnitt 1-1)

... Anschlussquerschnitt Steife [5]



▪ Schweißnaht

→ konstruktiv Kehlnaht $a_7 = 6\text{mm}$, an alle angrenzenden Bauteile, entspricht der Mindestschweißnahtdicke

Nachweis des Schottblechs [4]

$$b_4 = 720\text{mm}$$

$$h_4 = 575\text{mm}$$

$$t_4 = 12\text{mm}$$

▪ Spannung

→ konstruktiv ohne weiteren Nachweis

▪ Schweißnaht

→ konstruktiv $a_3 = 6\text{mm}$, Einseitig umlaufende Kehlnaht, entspricht der Mindestschweißnahtdicke

Anschluss der Diagonale an den Riegel

$H_D = 800\text{mm}$... Höhe Diagonale

$B_D = 800\text{mm}$... Breite Diagonale

$t_D = 15\text{mm}$... Wandstärke Gurt

$s_D = 25\text{mm}$... Wandstärke Steg

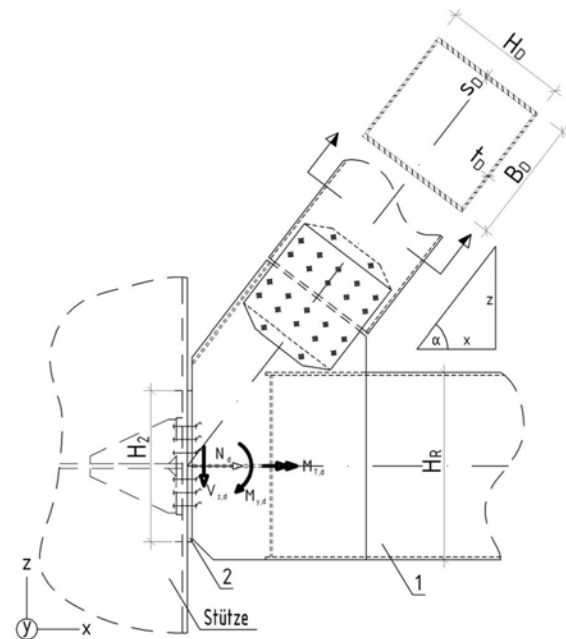
$x = 14375\text{mm}$... Systemmaße

$z = 18750\text{mm}$... Systemmaße

$\alpha = 52,5^\circ$... Neigungswinkel

$$\sin \alpha = \frac{z}{\sqrt{x^2 + z^2}} = 0,794$$

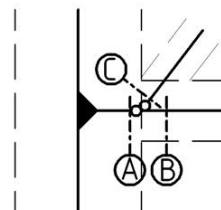
$$\cos \alpha = \frac{x}{\sqrt{x^2 + z^2}} = 0,608$$



▪ Anschlussschnittkräfte an Stelle C

$$N_{d,Zug} = 6180\text{kN}$$

$$N_{d,Druck} = 7920\text{kN}$$



▪ Schraubenbemessung

$$d = 27\text{mm}$$

$$\Delta d = 2\text{mm}$$

$$10.9$$

$$a = 60\text{mm}$$

▪ Schraubenabstände

$$e_{\min} = (d + \Delta d) \cdot 2,2 = 63,8\text{mm}$$

$$e_{\text{gewählt}} = 110\text{mm}$$

$$e_{1,\min} = (d + \Delta d) \cdot 1,2 = 34,8\text{mm}$$

$$e_{1,\text{gewählt}} = 100\text{mm}$$

$$e_{2,\min} = (d + \Delta d) \cdot 1,2 = 34,8\text{mm}$$

$$e_{2,\text{gewählt}} = 50\text{mm}$$

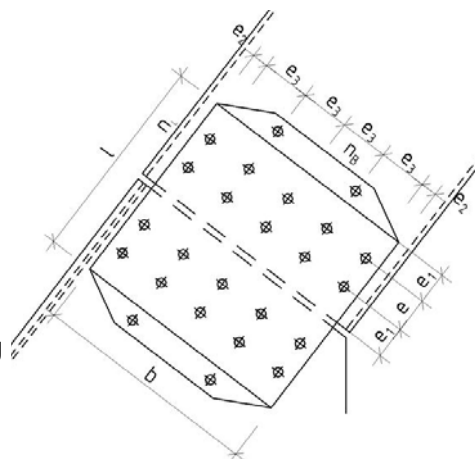
$$e_{3,\min} = (d + \Delta d) \cdot 2,4 = 69,6\text{mm}$$

$$e_{3,\text{gewählt}} = 150\text{mm}$$

$n_L = 2$... Anzahl der Schrauben in Kraftrichtung

$n_B = 5$... Anzahl der Schrauben \perp zur Kraftrichtung

$n_{\text{Blech}} = 4$.. Anzahl der Verbindungsbleche



▪ Abmessungen der Verbindungsbleche [2]

$$L = ((n_L - 1) \cdot e + 2 \cdot e_1) \cdot 2 + 20 = 640 \text{ mm} \quad B = (n_B - 1) \cdot e_3 + 2 \cdot e_2 = 700 \text{ mm} \quad t_{\text{Blech}} = 15 \text{ mm}$$

▪ Grenzwerte der Schrauben

$$V_{a,R,d} = 287 \text{ kN} \quad V_{l,R,d} = 662 \text{ kN}$$

▪ Nachweis der Schrauben

$$\frac{N_d}{n \cdot V_{a,R,d}} = 0,69 < 1,0 \quad \frac{V_{n,d}}{n \cdot V_{l,R,d}} = 0,60 \leq 1,0$$

▪ Nachweis des Nettoquerschnitts der Verbindungsbleche

$$A_{\text{Nutz L}} = b \cdot t - ((d + \Delta d) \cdot t \cdot n_B) = 88,3 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_d = \frac{N_d}{n_{\text{Blech}} \cdot A_{\text{Nutz L}}} = 23,78 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\sigma_d}{\sigma_{R,d}} = 0,73 < 1,0$$

▪ Nachweis des Nettoquerschnitts der Diagonalstege

$$A_{\text{Nutz D}} = (H_D \cdot s_D \cdot 2) - ((d + \Delta d) \cdot s \cdot n_B \cdot 2) = 327,5 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_d = \frac{N_d}{A_{\text{Nutz D}}} = 24,18 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\sigma_d}{\sigma_{R,d}} = 0,74 < 1,0$$

Bemessung der Knotenbleche bzw. Anschlussquerschnitt

Schnitt 1-1

$$H_{1-1} = H_{2,\text{gewählt}} - a_1 = 980 \text{ mm}$$

$$A_{1-1 \text{ Gesamt}} = 892 \text{ cm}^2$$

$$A_{1-1 \text{ Steg}} = 392 \text{ cm}^2$$

$$I_z = 1179797 \text{ cm}^4$$

$$W_z = 21157 \text{ cm}^3$$

▪ Schnittkräfte an Stelle A

$$N_{d,\text{Zug}} = 2330 \text{ kN}$$

$$N_{d,\text{Druck}} = 4110 \text{ kN}$$

$$V_{z,d} = 6760 \text{ kN}$$

$$V_{y,d} = 110 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = 810 \text{ kNm}$$

$$M_{T,d} = 1080 \text{ kNm} \rightarrow V_{T,z,d} = 1421 \text{ kN}$$

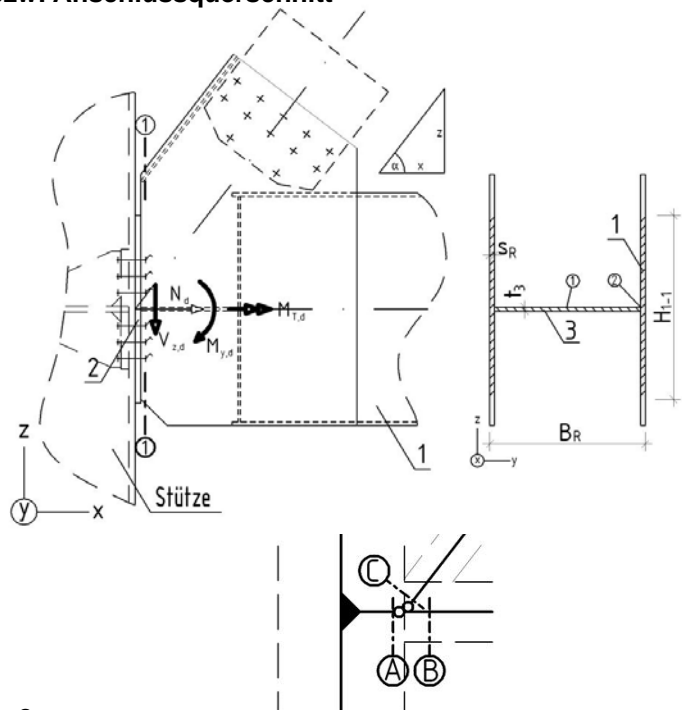
▪ maßgebende Spannung an Stelle 2

$$\sigma_{2,d} = \frac{N_d}{A_{\text{Gesamt}}} + \frac{M_z}{W_z} = 11,01 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{2,d} = \frac{(V_{y,d} \cdot (B_R - s_R) \cdot H_{1-1}) / 4}{I_z} + \frac{1,5 \cdot V_z}{H_{1-1} \cdot s_R \cdot 2} + \frac{1,5 \cdot V_{T,d}}{H_{1-1} \cdot s_R} = 18,54 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,2,d} = \sqrt{\sigma_{2,d}^2 + 3 \cdot \tau_{2,d}^2} = 32,28 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{V,2,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,98 < 1,0$$



Schnitt 2-2

$$H_{2-2} = 1879 \text{ mm}$$

$$h_2 = 621 \text{ mm}$$

$$A_{2-2 \text{ Gesamt}} = 1611 \text{ cm}^2$$

$$A_{2-2 \text{ Steg}} = 752 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 5289033 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 2219281 \text{ cm}^4$$

$$W_z = 39377 \text{ cm}^3$$

$$S_z = 59597 \text{ cm}^3$$

$$I_\omega = 6386402327 \text{ cm}^6$$

$$I_T = 8098 \text{ cm}^4$$

$$w_M = 3570$$

$$\lambda = 0,0007 \text{ cm}^{-1}$$

$$m_T = 78,5 \text{ kNm/m}$$

$$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

$$G = 8000 \text{ kN/cm}^2$$

▪ Schnittkräfte Riegel - Stelle B

$$N_{d,Zug} = 6390 \text{ kN}$$

$$N_{d,Druck} = 6950 \text{ kN}$$

$$V_{z,d} = 780 \text{ kN}$$

$$V_{y,d} = 180 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = 810 \text{ kNm}$$

$$M_{T,d} = 1080 \text{ kNm} \rightarrow V_{T,z,d} = \frac{M_{T,d}}{(B_R - s_R)} = 1421 \text{ kN}$$

▪ Schnittkräfte Diagonale – Stelle C

$$N_{d,Zug} = 6180 \text{ kN}$$

$$N_{d,Druck} = 7920 \text{ kN}$$

$$F_{x,d} = \cos \alpha \cdot N_d = 4819 \text{ kN}$$

$$F_{z,d} = \sin \alpha \cdot N_d = 6285 \text{ kN}$$

▪ maßgebende Spannung an Stelle 2

$$M_{y,d,2-2} = F_{x,d} \cdot \left(\frac{H_{2-2}}{2} - h_2 \right) + N_{\text{Schnitt B,Zug,d}} \cdot \left(\frac{H_{2-2}}{2} - \frac{H_R}{2} \right) = 3704 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{2,d} = \frac{(N_{d,Zug} - F_{x,d})}{A_{\text{Gesamt}}} + \frac{M_{y,d,2-2}}{I_y} \cdot \left(\frac{H_{2-2}}{2} - \frac{H_R}{2} \right) + \frac{M_z}{W_z} = 5,40 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{2,d} = \frac{(V_{y,d} \cdot (B_R - s_R) \cdot H_{2-2}) / 4}{I_z} + \frac{(V_{z,d} + F_{z,d}) \cdot H_{2-2}^2}{8 \cdot I_y} + \frac{M_{T,d} \cdot w_M \cdot H_{2-2}}{4 \cdot I_\omega} = 6,21 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,2,d} = \sqrt{\sigma_{2,d}^2 + 3 \cdot \tau_{2,d}^2} = 11,74 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{V,2,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,36 < 1,0$$

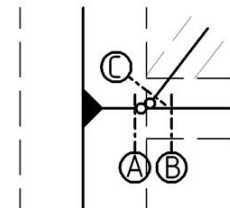
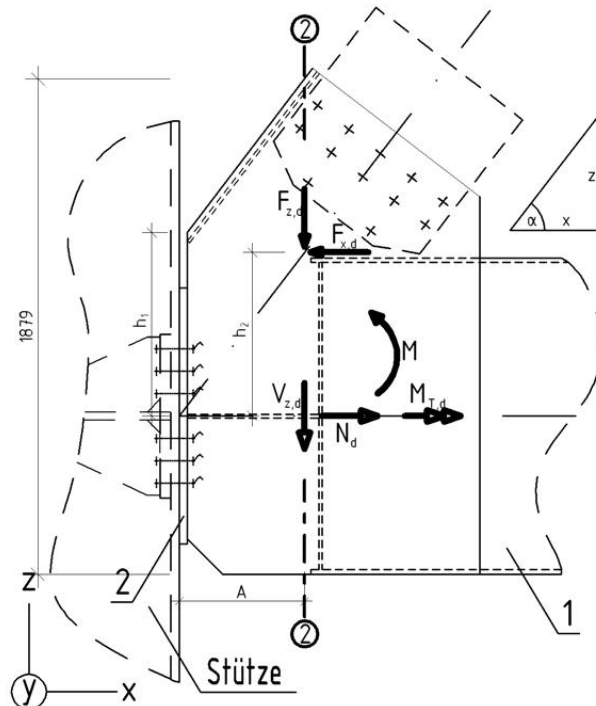
Torsionsmomente

$$M_{x,p}(x=0) = \frac{m_T}{\lambda} \cdot \left[\lambda \cdot \frac{l}{2} + \frac{1 - \cosh(\lambda \cdot l)}{\sinh(\lambda \cdot l)} \right] = 0,02 \text{ kNm}$$

... primäres Torsionsmoment

$$M_{x,s}(x=0) = -\frac{m_T}{\lambda} \cdot \frac{1 - \cosh(\lambda \cdot l)}{\sinh(\lambda \cdot l)} = 1079,97 \text{ kNm}$$

... sekundäres Torsionsmoment



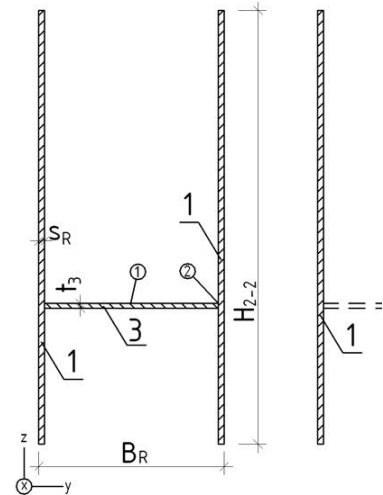
Spannung Knotenblech [1]

$$\sigma_{\text{Knotenblech,d}} = \frac{N_{\text{Schnitt A}}/2 + M_z/B_R - s_R}{H_{2-2} \cdot s_R} + \frac{M_{y,d,2-2} \cdot 6}{2 \cdot H_{2-2}^2 \cdot s_R} = 10,61 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\text{Knotenblech,d}} = \frac{1,5 \cdot \left(F_{z,d}/2 + V_{z,d}/2 + V_{T,d} \right)}{H_{2-2} \cdot s_R} = 9,88 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,\text{Knotenblech,d}} = \sqrt{\sigma_{1,d}^2 + 3 \cdot \tau_{1,d}^2} = 20,14 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{V,\text{Knotenblech,d}}}{\sigma_{R,d}} = 0,61 < 1,0$$



Schnitt 3-3

$l_1 = 430 \text{ mm}$... Länge 1 – Abstand Riegelende zu Schnittpunkt Systemlinie

$l_2 = 681 \text{ mm}$... Länge 2 – Abstand Knotenblechende zu Schnittpunkt Systemlinie

$l_{\text{Gesamt}} = l_1 + l_2 = 1111 \text{ mm}$... Gesamtanschlusslänge Knotenblech

$W = \frac{l_{\text{Gesamt}}^2 \cdot s_R}{6} = 8228 \text{ cm}^4$... Widerstandsmoment Knotenblech im Schnitt 3-3

Schnittkräfte Diagonale – Stelle C

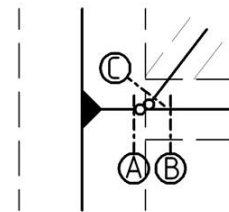
$$N_{d,\text{Zug}} = 6180 \text{ kN}$$

$$N_{d,\text{Druck}} = 7920 \text{ kN}$$

$$F_{x,d}/2 = \cos \alpha \cdot N_d/2 = 2410 \text{ kN}$$

$$F_{z,d}/2 = \sin \alpha \cdot N_d/2 = 3143 \text{ kN}$$

$$M_d = \frac{F_{z,d}}{2} \cdot \left(\frac{l_{\text{Gesamt}}}{2} - l_1 \right) = 394,4 \text{ kNm}$$



Spannung

$$\sigma_{3-3,d} = \frac{F_{z,d}}{l_{\text{Gesamt}} \cdot s_R} + \frac{M_d}{W} = 10,21 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{3-3,d} = \frac{F_{y,d}}{l_{\text{Gesamt}} \cdot s_R} = 11,31 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,3-3,d} = \sqrt{\sigma_{3-3,d}^2 + 3 \cdot \tau_{3-3,d}^2} = 22,10 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{V,3-3,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,68 < 1,0$$

Steifen Stütze

Abmessungen Steife [12]

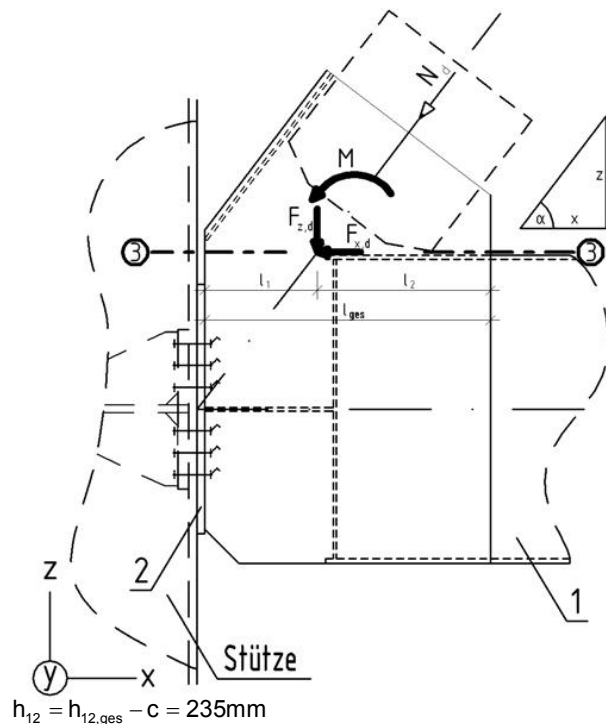
$$B_R = 800 \text{ mm}$$

$$H_{2,\text{min}} = 580 \text{ mm}$$

$$h_{12,\text{ges}} = \frac{H_{2,\text{min}} - t_3}{2} \approx 285 \text{ mm}$$

$$b_{12,\text{ges}} = 550 \text{ mm}$$

$$t_{12} = 25 \text{ mm}$$



$$h_{12} = h_{12,\text{ges}} - c = 235 \text{ mm}$$

$$b_{12} = b_{12,\text{ges}} - c = 500 \text{ mm}$$

$$c = 50 \text{ mm}$$

$$a = B_R - s_R = 760 \text{ mm}$$

▪ Schnittkräfte an der Stelle A

$$N_{d,Zug} = 2200 \text{ kN}$$

$$N_{d,Druck} = 4110 \text{ kN}$$

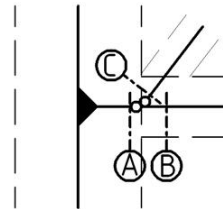
$$M_{z,d} = 730 \text{ kNm}$$

$$N_{12,d} = \frac{N_d}{2} \cdot \frac{A_{\text{Steg}}}{A_{\text{Gesamt}}} = 744 \text{ kN}$$

... anteilige Normalkraft je Steife

$$F_{X,12} = q_X \cdot h_{12,ges} = N_{12,d} + \frac{M_{z,d}}{2 \cdot a} = 1215 \text{ kN} \quad \dots \text{ Bemessungskraft in X-Richtung}$$

$$F_{Z,12} = \frac{F_{X,12} \cdot \left(c + \frac{h_{12}}{2} \right)}{\left(c + \frac{2}{3} b_{12} \right)} = 531 \text{ kN} \quad \dots \text{ Bemessungskraft in Y-Richtung}$$



▪ Spannungen Stelle 1

$$\sigma_{1,d} = \frac{F_{X,12}}{h_{12} \cdot t_{12}} = 20,68 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{1,d} = \frac{F_{Z,12}}{h_{12} \cdot t_{12}} = 9,03 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{1,V,d} = \sqrt{\sigma_{1,d}^2 + 3 \cdot \tau_{1,d}^2} = 25,94 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{1,V,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,79 < 1,0$$

▪ Spannung Stelle 2

$$\sigma_{2,d} = \frac{F_{Z,12}}{b_{12} \cdot t_{12}} + \frac{F_{Z,12} \cdot \left(\frac{2}{3} - \frac{1}{2} \right) \cdot b_{12} \cdot 6}{b_{12}^2 \cdot t_{12}} = 8,50 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{2,d} = \frac{F_{X,12}}{b_{12} \cdot t_{12}} = 9,72 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{2,V,d} = \sqrt{\sigma_{2,d}^2 + 3 \cdot \tau_{2,d}^2} = 18,86 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{2,V,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,57 < 1,0$$

▪ Schweißnähte a₁₂

$$a_{12} = 12 \text{ mm}$$

$$a_{\min} = 5,2 \text{ mm}$$

$$l_{12} = h_{12} = 235 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 17,5 \text{ mm}$$

$$\sigma_{a12,w,d} = \frac{F_{X,12}}{2 \cdot h_{12} \cdot a_{12}} = 21,54 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{a12,w,d} = \frac{F_{Z,12}}{2 \cdot h_{12} \cdot a_{12}} = 9,41 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{a12,w,V,d} = \sqrt{\sigma_{a12,w,d}^2 + \tau_{a12,w,d}^2} = 23,50 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{a12,w,V,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,89 < 1,0$$

▪ Schweißnähte a₁₃

$$a_{13} = 8 \text{ mm}$$

$$a_{\min} = 4,5 \text{ mm}$$

$$l_{13} = b_{12} = 500 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 14,0 \text{ mm}$$

$$\sigma_{a13,w,d} = \frac{F_{Z,12}}{2 \cdot b_{12} \cdot a_{13}} + \frac{F_{Z,12} \cdot \left(\frac{2}{3} - \frac{1}{2} \right) \cdot b \cdot 6}{2 \cdot b_{12}^2 \cdot a_{13}} = 13,27 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{a13,w,d} = \frac{F_{X,12}}{2 \cdot b_{12} \cdot a_{13}} = 15,18 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{a13,w,V,d} = \sqrt{\sigma_{a13,w,d}^2 + \tau_{a13,w,d}^2} = 20,17 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{a13,w,V,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,77 < 1,0$$

Schottblech

▪ Abmessungen Schottblech

$$L_S = 2436 \text{ mm}$$

$$B_S = 2436 \text{ mm}$$

$$t_{SBI} = 30 \text{ mm}$$

$$b_X = 800 \text{ mm}$$

$$b_Y = 800 \text{ mm}$$

$$B_R = 800 \text{ mm}$$

▪ Schnittkräfte jeweils an Stelle A

R3/R9

R17/R24

$$N_{X,d,Zug} = 2200 \text{ kN}$$

$$N_{Y,d,Zug} = 1210 \text{ kN}$$

$$N_{X,d,Druck} = 4110 \text{ kN}$$

$$N_{Y,d,Druck} = 5460 \text{ kN}$$

$$V_{Y,y,d} = 110 \text{ kN}$$

$$V_{X,y,d} = 170 \text{ kN}$$

$$M_{X,z,d} = 730 \text{ kNm}$$

$$M_{Y,z,d} = 870 \text{ kNm}$$

▪ Schubkräfte

$$T_X = \frac{N_X}{2} + \frac{M_{X,z,d}}{B_R} + V_{X,y,d} = 3138 \text{ kN}$$

$$T_Y = \frac{N_Y}{2} + \frac{M_{Y,z,d}}{B_R} + V_{Y,y,d} = 3928 \text{ kN}$$

▪ Schnitt S1

$$s = 1157 \text{ mm}$$

$$\alpha = 45^\circ$$

$$\sin \alpha = 0,707$$

$$\cos \alpha = 0,707$$

▪ Bemessung

$$N_{SX,d} = \left(\frac{N_{X,d}}{2} + \frac{M_{X,z,d}}{B_R} \right) \cdot \sin \alpha + \frac{T_Y}{2} \cdot \cos \alpha = 3486 \text{ kN}$$

$$T_{SX,d} = \left(\frac{N_{X,d}}{2} + \frac{M_{X,z,d}}{B_R} \right) \cdot \cos \alpha + \frac{T_Y}{2} \cdot \sin \alpha = 3486 \text{ kN}$$

$$N_{SY,d} = \left(\frac{N_{Y,d}}{2} + \frac{M_{Y,z,d}}{B_R} \right) \cdot \sin \alpha + \frac{T_X}{2} \cdot \cos \alpha = 3808 \text{ kN}$$

$$T_{SY,d} = \left(\frac{N_{Y,d}}{2} + \frac{M_{Y,z,d}}{B_R} \right) \cdot \cos \alpha + \frac{T_X}{2} \cdot \sin \alpha = 3808 \text{ kN}$$

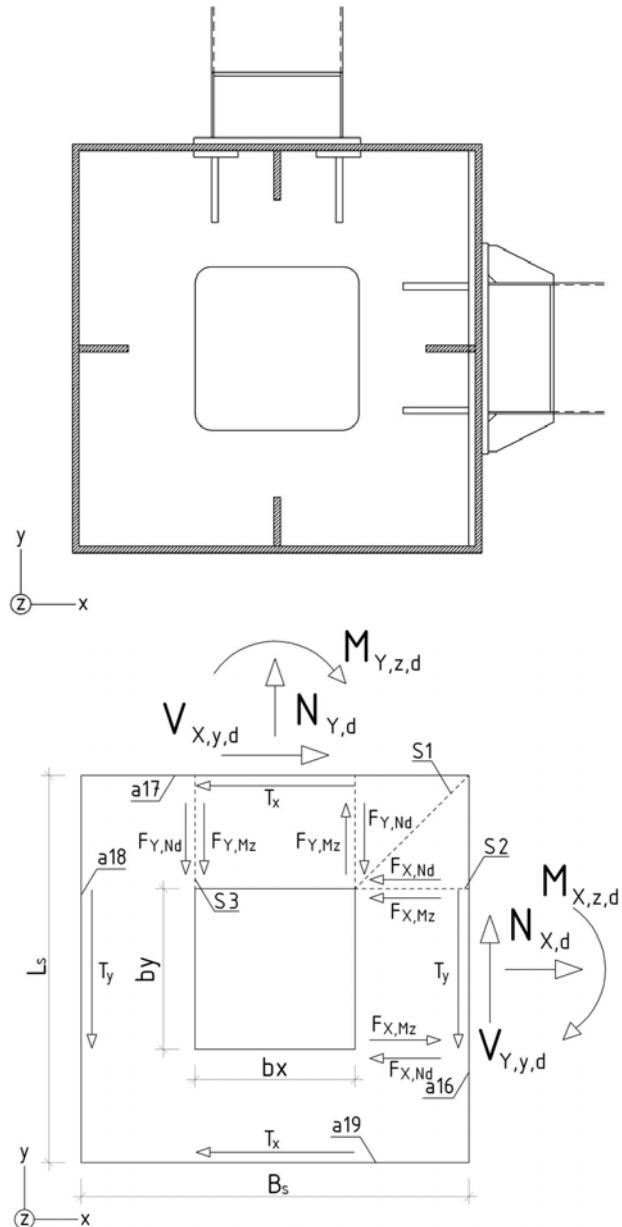
▪ Spannungen an Schnitt S1

$$N_{S,d} = \max \begin{cases} N_{SX,d} \\ N_{SY,d} \end{cases} = 3808 \text{ kN}$$

$$\sigma_{S,d} = \frac{N_{S,d}}{t_{SBI} \cdot s} = 11,00 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,S,d} = \sqrt{\sigma_{2,d}^2 + 3 \cdot \tau_{2,d}^2} = 21,94 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{V,S,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,67 < 1,0$$



▪ Spannungen an Schnitt S2

$$\sigma_{S,d} = \frac{\left(\frac{N_{Y,d}}{2} + \frac{M_{Y,z,d}}{B_R} \right)}{\left(\frac{B_S - b_x}{2} \right) \cdot t_{SBI}} = 15,59 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{S,d} = \frac{T_x}{\left(\frac{B_S - b_x}{2} \right) \cdot t_{SBI}} = 12,81 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,S,d} = \sqrt{\sigma_{2,d}^2 + 3 \cdot \tau_{2,d}^2} = 27,11 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{V,S,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,82 < 1,0$$

▪ Spannungen an Stelle a17

$$\sigma_{a16,d} = \frac{N_{a16,d}}{l_{16} \cdot t_{SBI}} = 1,63 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{a16,d} = \frac{T_y}{l_{16} \cdot t_{SBI}} = 12,59 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,S,d} = \sqrt{\sigma_{2,d}^2 + 3 \cdot \tau_{2,d}^2} = 21,81 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{V,S,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,66 < 1,0$$

▪ Schweißnähte

Die Schweißnähte der Schottbleche an die Stützenwände werden als Kehlnähte ausgeführt.

$$a_{\min} = 5,2 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 21,0 \text{ mm}$$

$$a_{16} = 10 \text{ mm} \quad l_{16} = 1040 \text{ mm}$$

R3/R9

$$N_{a16,d} = N_{X,d} \cdot \frac{(A_{\text{Gesamt}} - 2 \cdot A_{\text{Steg}})}{A_{\text{Gesamt}}} = 511 \text{ kN}$$

$$\sigma_{a16,w,d} = \frac{N_{a16,d}}{2 \cdot l_{16} \cdot a_{16}} = 2,45 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{a16,w,d} = \frac{T_y}{2 \cdot l_{16} \cdot a_{16}} = 18,88 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{a16,w,V,d} = \sqrt{\sigma_{a16,w,d}^2 + \tau_{a16,w,d}^2} = 19,04 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{a16,w,V,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,73 < 1,0$$

$$a_{17} = 8 \text{ mm} \quad l_{17} = 1125 \text{ mm}$$

R17/R24

$$A_{1-1 \text{ Gesamt}} = 1223 \text{ cm}^2 \quad A_{1-1 \text{ Steg}} = 558 \text{ cm}^2$$

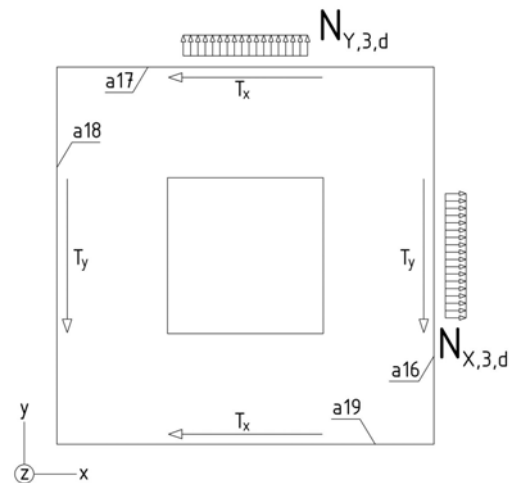
$$N_{a17,d} = N_{Y,d} \cdot \frac{(A_{\text{Gesamt}} - 2 \cdot A_{\text{Steg}})}{A_{\text{Gesamt}}} = 478 \text{ kN}$$

$$\sigma_{a17,w,d} = \frac{N_{a17,d}}{2 \cdot l_{17} \cdot a_{17}} = 2,65 \text{ kN/cm}^2$$

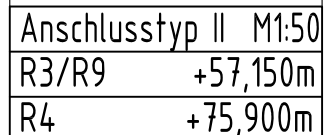
$$\tau_{a17,w,d} = \frac{T_x}{2 \cdot l_{17} \cdot a_{17}} = 17,43 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{a17,w,V,d} = \sqrt{\sigma_{a17,w,d}^2 + \tau_{a17,w,d}^2} = 17,63 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau_{a17,w,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,67 < 1,0$$



→ Schweißnähte $a_{18} = a_{19} = 6 \text{ mm}$ konstruktiv gewählt, ohne weiteren Nachweis



D/III Berechnung Anschlusstyp III

Anschluss zur Stütze

▪ Abmessungen Riegel [1]

$$H_R = 1200\text{mm} \quad B_R = 800\text{mm}$$

$$t_R = 15\text{mm} \quad s_R = 75\text{mm}$$

$$t_3 = 30\text{mm}$$

▪ Abmessungen Stütze

$$B_S = 2500\text{mm} \quad t_S = 32\text{mm}$$

▪ Anschlussschnittkräfte an Stelle A

$$N_{d,Zug} = 1210\text{kN}$$

$$N_{d,Druck} = 5460\text{kN}$$

$$V_{z,d} = 19840\text{kN}$$

$$V_{y,d} = 170\text{kN}$$

$$M_{y,d} = 0\text{kNm}$$

$$M_{z,d} = 870\text{kNm}$$

$$M_{T,d} = 80\text{kNm} \rightarrow V_{T,z,d} = 106\text{kN}$$

▪ Schraubenbemessung

$$d = 36\text{mm} \quad \Delta d = 2\text{mm}$$

$$10.9 \quad a = 81\text{mm}$$

▪ Schraubenabstände

$$e_{R,min} = 76\text{mm} \quad e_{R,gewählt} = 80\text{mm}$$

$$e_{H1,min} = 207\text{mm} \quad e_{H1,gewählt} = 245\text{mm}$$

$$e_{V2,gewählt} = 90\text{mm}$$

$$e_{H2,gewählt} = 140\text{mm}$$

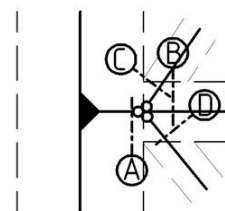
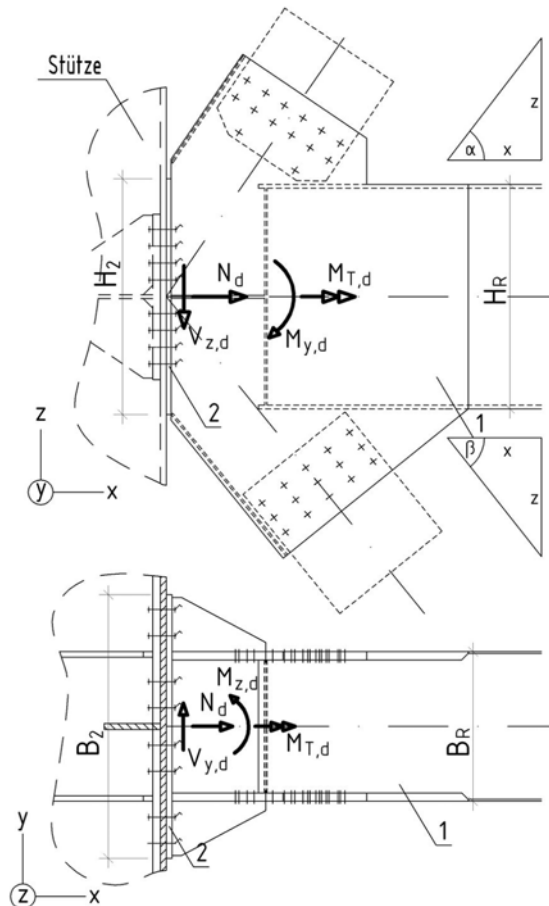
$$e_{V3,min} = 177\text{mm} \quad e_{V3,gewählt} = 180\text{mm}$$

$$e_{H3,min} = 194\text{mm} \quad e_{H3,gewählt} = 200\text{mm}$$

$$e_{H4,gewählt} = 140\text{mm}$$

$$n_{VA1} = 8 \quad n_{VI} = 8$$

$$n_{VA2} = 8$$



$$n_{HO} = 2$$

$$n_{HU} = 2$$

▪ Abmessungen Stirnplatte [2]

$$H_{2,min} = 880\text{mm (rechnerisch)}$$

$$B_2 = 1410\text{mm}$$

▪ Grenzwerte der Schrauben

$$N_{R,d} = 594\text{kN} \quad V_{a,R,d} = 509\text{kN}$$

$$H_{2,gewählt} = 1260\text{mm}$$

$$t_2 = 30\text{mm}$$

$$V_{l,R,d} = 758\text{kN}$$

Nachweis der Schrauben

- maßgebende vertikale Schrauben

$$\frac{V_{z,d}}{2 \cdot (n_{VA1} + n_{VA2} + n_{VI}) \cdot V_{a,R,d}} + \frac{V_{T,d}}{(n_{VA1} + n_{VA2} + n_{VI}) \cdot V_{a,R,d}} = 0,82 < 1,0$$

$$\frac{V_{z,d}}{2 \cdot (n_{VA1} + n_{VA2} + n_{VI}) \cdot V_{a,L,d}} + \frac{V_{T,d}}{(n_{VA1} + n_{VA2} + n_{VI}) \cdot V_{a,L,d}} = 0,55 < 1,0$$

$$\frac{N_d}{(n_{VA1} + n_{VI} + n_{HO} + n_{HU}) \cdot N_{R,d}} + \frac{N_{Mz,d}}{n_{Mz} \cdot N_{R,d}} = 0,21 < 1,0$$

$$\leftarrow n_{Mz} = n_{VA1} + n_{VI} = 16$$

$$\leftarrow N_{Mz,d} = \frac{M_{z,d}}{B_R - s_R} = 1200 \text{ kN}$$

- maßgebender Interaktionsnachweis

vertikale Schrauben (n_V)

$$\left(\frac{N_d}{(n_{VA1} + n_{VI} + n_{HO} + n_{HU}) \cdot N_{R,d}} + \frac{N_{Mz,d}}{n_{Mz} \cdot N_{R,d}} \right)^2 + \left(\frac{V_{z,d}}{2 \cdot (n_{VA1} + n_{VA2} + n_{VI}) \cdot V_{a,R,d}} + \frac{V_{T,d}}{(n_{VA1} + n_{VA2} + n_{VI}) \cdot V_{a,R,d}} \right)^2 = 0,71 < 1,0$$

Nachweis der Stirnplatte [2]

$$D = 66 \text{ mm}$$

$$c_1 = 6,1 \text{ mm}$$

$$Z_d = 1681 \text{ kN}$$

$$V_t = 840 \text{ kN}$$

$${}_{\text{eff}} t_2 = 5,4 \text{ mm} < 30 \text{ mm} = t_2$$

$$M_d = 51,27 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,d} = 66,42 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_d}{M_{pl,d}} = 0,77 \leq 1,0$$

Verstärkung Stützenwand [21]

- Abmessungen Verstärkungsblech

$$H_{21} = H_{2,\min} = 880 \text{ mm}$$

... Höhe Verstärkungsblech

$$B_{21} = B_S - 2 \cdot t_s = 2436 \text{ mm}$$

... Breite Verstärkungsblech

$$t_{21} = 40 \text{ mm}$$

... Materialstärke

Verstärkungsblech wird in den Stützen über die Gesamte Breite geführt und an den angrenzenden Wandblechen voll angeschlossen, um die resultierenden Schubkräfte aus den angeschlossenen Querkraften des Riegels abzutragen.

- Schweißnähte an Stützenwand

Die Schweißnähte an die Stützenwand werden konstruktiv ohne weiteren Nachweis, nach der Mindestnachtdicke bemessen.

$$a_{\min} = 5,8 \text{ mm} \rightarrow a = 6 \text{ mm}$$

- Schweißnahtverbindung der Stützenwände

$$T_{21} = \frac{V_{y,d}}{B_S} + \frac{V_{z,d}/2 + V_{T,d}}{H_{2,\min}} = 114 \text{ kN/cm}$$

$$\tau_d = \frac{T}{t_{21} + t_s} = \frac{114 \text{ kN/cm}}{4 \text{ cm} + 3,2 \text{ cm}} = 15,70 \text{ kN/cm}^2 < \tau_{R,d} = 18,89 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{w,d} = \frac{T}{a_{21} + \Delta a} = \frac{114 \text{ kN/cm}}{4 \text{ cm} + 1 \text{ cm}} = 22,92 \text{ kN/cm}^2 < \tau_{w,R,d} = 26,18 \text{ kN/cm}^2$$

Für den Querschnittabschnitt S4 wurde in Kapitel 4 bzw. der dazugehörigen Statik (Seite VII-2) in der Anlage eine Schweißnahtstärke des Stützenquerschnittes von $a_{\text{eff}} = 4,6\text{mm}$ ermittelt. Aufgrund des kompakten Anschlusses und der großen Querkkräfte, sind die Schweißnähte in diesem Bereich als $a = a_{\text{eff}} + \Delta a = 1,46\text{cm} \approx 15\text{mm}$ auszuführen.

Das Verstärkungsblech wird über den gesamten Querschnitt angeschlossen $a_{11} = t_{11}$.

Schweißnähte

▪ Schweißverbindung der Riegelstege [1] an die Stirnplatte [2]

$$\begin{aligned}
 a_1 &= 18\text{mm} & a_{\min} &= 6,2\text{mm} & a_{\max} &= 18\text{mm} \\
 l_1 &= H_{1-1} = 1260\text{mm} & \text{für } \tau & & & \\
 H_{2,\min} &= 880\text{mm} & \text{für } \sigma & A_{\text{Steg}} = 660\text{cm}^2 & A_{\text{Gesamt}} &= 1515\text{cm}^2 \\
 N_{a1,d} &= N_d \cdot \frac{A_{\text{Steg}}}{A_{\text{Gesamt}}} = 2378\text{kN} \\
 \sigma_{a1} &= 11,28\text{kN/cm}^2 & \tau_{a1} &= 22,10\text{kN/cm}^2 \\
 \sigma_{a1,w,V,d} &= 24,81\text{kN/cm}^2 & \sigma_{w,R,d} &= 26,18\text{kN/cm}^2 & \frac{\sigma_{a1,w,V,d}}{\sigma_{w,R,d}} &= 0,95 < 1,0
 \end{aligned}$$

▪ Schweißverbindung des Stegblechs [3] an die Stirnplatte [2]

$$\begin{aligned}
 a_2 &= 6\text{mm} & a_{\min} &= 5,8\text{mm} & a_{\max} &= 21,0\text{mm} \\
 l_2 &= 650\text{mm} & N_{a2,d} &= N_d \cdot \frac{A_{\text{Gesamt}} - 2 \cdot A_{\text{Steg}}}{A_{\text{Gesamt}}} = 703\text{kN} \\
 \sigma_{a2} &= 9,01\text{kN/cm}^2 & \tau_{a2} &= 2,18\text{kN/cm}^2 \\
 \sigma_{a2,w,V,d} &= 9,24\text{kN/cm}^2 & \sigma_{w,R,d} &= 26,18\text{kN/cm}^2 & \frac{\sigma_{a2,w,V,d}}{\sigma_{w,R,d}} &= 0,35 < 1,0
 \end{aligned}$$

Nachweis des Stegblechs [3]

$$\begin{aligned}
 b_3 &= 650\text{mm} & l_3 &= 500\text{mm} & t_3 &= 30\text{mm} \\
 N_{3,d} &= 703\text{kN}
 \end{aligned}$$

▪ Spannung Stelle 1 und 2

→ aufgrund der geringen Ausnutzung an der maßgebende Stelle 2, und der geringen Relevanz für den Gesamtnachweis des Anschlusses wird der Nachweis nicht ausführlich dokumentiert

▪ Schweißnaht des Stegblechs [3]

→ konstruktiv $a_3 = 8\text{mm}$, aufgrund der oben beschriebenen geringen Ausnutzung wird hier die Mindestnahtdicke ($a_{\min} = 8,1\text{mm}$) angesetzt.

Nachweis der Steife an der Stirnplatte [7]

→ wird aus konstruktiven Gründen angeordnet um die Stirnplatte auszusteifen. Die Schweißnähte an Stirnplatte und Riegelstege entsprechen denen des Stegblechs [3]

▪ Abmessungen Steife [7]

$$b_{7,ges} = \frac{B_2 - B_R - (2 \cdot 15\text{mm})}{2} = 290\text{mm} \quad b_7 = b_{7,ges} - c = 240\text{mm}$$

$$l_{7,ges} = 500\text{mm} \quad l_7 = l_{7,ges} - c = 450\text{mm}$$

$$t_{12} = 30\text{mm} \quad c = 50\text{mm}$$

$$A_{Gesamt} = 641\text{cm}^2 \quad \dots \text{rechnerischer Anschlussquerschnitt (siehe Schnitt 1-1)}$$

$$A_7 = b_7 \cdot t_7 = 87\text{cm}^2 \quad \dots \text{Anschlussquerschnitt Steife [7]}$$

▪ Schweißnaht

→ konstruktiv Kehlnaht $a_7 = 6\text{mm}$, an alle angrenzenden Bauteile, entspricht der Mindestschweißnahtdicke

Nachweis des Schottblechs [4]

$$b_4 = 650\text{mm} \quad h_4 = 578\text{mm} \quad t_4 = 12\text{mm}$$

▪ Spannung

→ konstruktiv, ohne weiteren Nachweis

▪ Schweißnaht

→ konstruktiv $a_3 = 6\text{mm}$, einseitig umlaufende Kehlnaht, entspricht der Mindestschweißnahtdicke

Anschluss der oberen Diagonale an den Riegel

$$H_D = 800\text{mm} \quad B_D = 800\text{mm}$$

$$t_D = 18\text{mm} \quad s_D = 30\text{mm}$$

$$x = 12500\text{mm} \quad z = 18750\text{mm}$$

$$\alpha = 56,3^\circ$$

$$\sin \alpha = \frac{z}{\sqrt{x^2 + z^2}} = 0,832 \quad \cos \alpha = \frac{x}{\sqrt{x^2 + z^2}} = 0,555$$

▪ Anschlussschnittkräfte an Stelle 2

$$N_{d,Zug} = 6680\text{kN} \quad N_{d,Druck} = 12100\text{kN}$$

Schraubenbemessung

$$d = 27\text{mm} \quad \Delta d = 2\text{mm}$$

▪ Schraubenabstände

$$e_{\min} = 63,8\text{mm} \quad e_{\text{gewählt}} = 110\text{mm}$$

$$e_{1,\min} = 34,8\text{mm} \rightarrow e_{1,\text{gewählt}} = 100\text{mm}$$

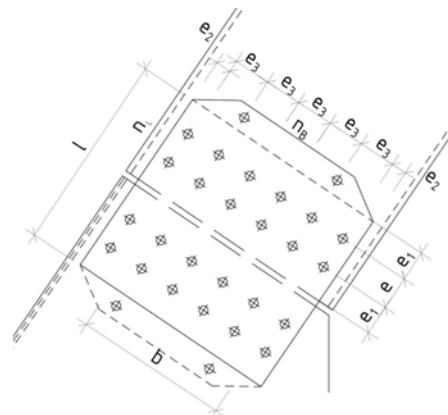
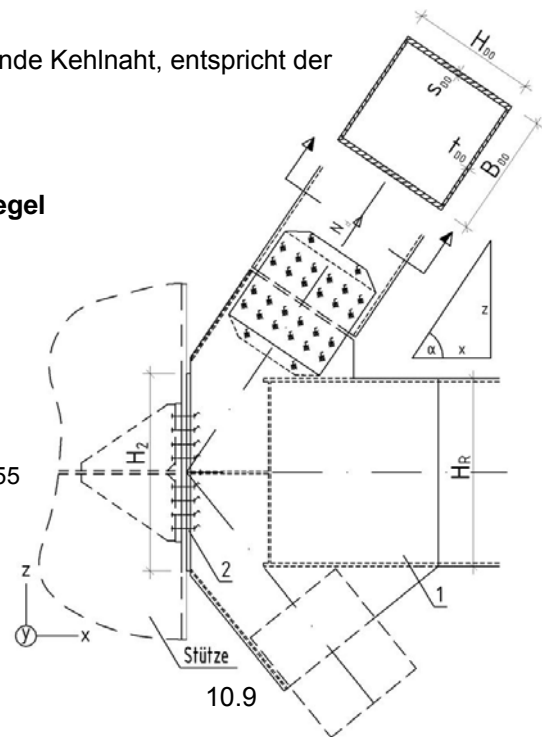
$$e_{2,\min} = 34,8\text{mm} \rightarrow e_{2,\text{gewählt}} = 50\text{mm}$$

$$e_{3,\min} = 69,6\text{mm} \quad e_{3,\text{gewählt}} = 120\text{mm}$$

$$n_L = 2 \quad \dots \text{Anzahl der Schrauben in Kraftrichtung}$$

$$n_B = 6 \quad \dots \text{Anzahl der Schrauben } \perp \text{ zur Kraftrichtung}$$

$$n_{\text{Blech}} = 4 \quad \dots \text{Anzahl der Verbindungsbleche}$$



▪ Abmessungen der Verbindungsbleche [2]

$$L = 640\text{mm}$$

$$B = 700\text{mm}$$

$$t_{\text{Blech}} = 30\text{mm}$$

▪ Grenzwerte der Schrauben

$$V_{a,R,d} = 287\text{kN}$$

$$V_{l,R,d} = 882\text{kN}$$

▪ Nachweis der Schrauben

$$\frac{N_d}{n \cdot V_{a,R,d}} = 0,88 < 1,0$$

$$\frac{V_{n,d}}{n \cdot V_{l,R,d}} = 0,57 \leq 1,0$$

▪ Nachweis des Nettoquerschnitts der Verbindungsbleche

$$A_{\text{Nutz L}} = 157,8\text{cm}^2$$

$$\sigma_d = \frac{N_d}{n_{\text{Blech}} \cdot A_{\text{Nutz L}}} = 19,17\text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_d}{\sigma_{R,d}} = 0,59 < 1,0$$

▪ Nachweis des Nettoquerschnitts der Diagonalen

$$A_{\text{Nutz D}} = 375,6\text{cm}^2$$

$$\sigma_d = \frac{N_d}{A_{\text{Nutz D}}} = 32,22\text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_d}{\sigma_{R,d}} = 0,98 < 1,0$$

Anschluss der unteren Diagonale an den Riegel

$$H_D = 800\text{mm} \quad \dots \text{Höhe Diagonale}$$

$$B_D = 800\text{mm} \quad \dots \text{Breite Diagonale}$$

$$t_D = 30\text{mm} \quad \dots \text{Wandstärke Gurt}$$

$$s_D = 55\text{mm} \quad \dots \text{Wandstärke Steg}$$

$$x = 12500\text{mm} \quad \dots \text{Systemmaße}$$

$$z = 15400\text{mm} \quad \dots \text{Systemmaße}$$

$$\alpha = 50,9^\circ \quad \dots \text{Neigungswinkel}$$

$$\sin \alpha = \frac{z}{\sqrt{x^2 + z^2}} = 0,776$$

$$\cos \alpha = \frac{x}{\sqrt{x^2 + z^2}} = 0,630$$

▪ Anschlussschnittkräfte an Stelle 2

$$N_{d,\text{Zug}} = 4530\text{kN}$$

$$N_{d,\text{Druck}} = 20450\text{kN}$$

▪ Schraubenabmessungen

$$d = 30\text{mm}$$

$$\Delta d = 2\text{mm}$$

▪ Schraubenabstände

$$e_{\min} = (d + \Delta d) \cdot 2,2 = 70,4\text{mm}$$

$$e_{1,\min} = (d + \Delta d) \cdot 1,2 = 38,4\text{mm}$$

$$e_{2,\min} = (d + \Delta d) \cdot 1,2 = 38,4\text{mm}$$

$$e_{3,\min} = (d + \Delta d) \cdot 2,4 = 76,8\text{mm}$$

$$e_{\text{gewählt}} = 100\text{mm}$$

$$e_{1,\text{gewählt}} = 100\text{mm}$$

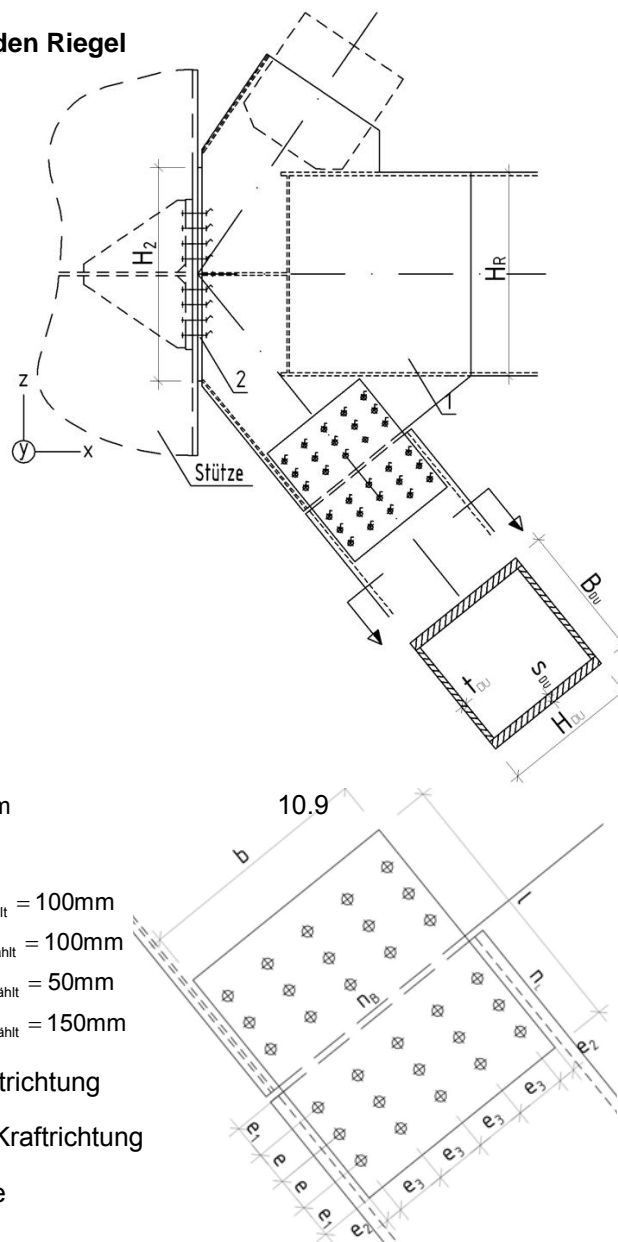
$$e_{2,\text{gewählt}} = 50\text{mm}$$

$$e_{3,\text{gewählt}} = 150\text{mm}$$

$$n_L = 3 \quad \dots \text{Anzahl der Schrauben in Krafrichtung}$$

$$n_B = 5 \quad \dots \text{Anzahl der Schrauben } \perp \text{ zur Krafrichtung}$$

$$n_{\text{Blech}} = 4 \quad \dots \text{Anzahl der Verbindungsbleche}$$



▪ Abmessungen der Verbindungsbleche [2]

$$L = ((n_L - 1) \cdot e + 2 \cdot e_1) \cdot 2 + 20 \text{ mm} = 820 \text{ mm}$$

$$B = (n_B - 1) \cdot e_3 + 2 \cdot e_2 = 700 \text{ mm}$$

$$t_{\text{Blech}} = 35 \text{ mm}$$

▪ Grenzwerte der Schrauben

$$V_{a,R,d} = 354 \text{ kN}$$

$$V_{l,R,d} = 1151 \text{ kN}$$

▪ Nachweis der Schrauben

$$\frac{N_d}{n \cdot V_{a,R,d}} = 0,96 < 1,0$$

$$\frac{V_{n,d}}{n \cdot V_{l,R,d}} = 0,59 \leq 1,0$$

▪ Nachweis des Nettoquerschnitts der Verbindungsbleche

$$A_{\text{Nutz L}} = b \cdot t - ((d + \Delta d) \cdot t \cdot n_B) = 189,0 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_d = \frac{N_d}{n_{\text{Blech}} \cdot A_{\text{Nutz L}}} = 27,05 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\sigma_d}{\sigma_{R,d}} = 0,83 < 1,0$$

▪ Nachweis des Nettoquerschnitts der Diagonalen

$$A_{\text{Nutz D}} = (H_D \cdot s_D \cdot 2) - ((d + \Delta d) \cdot s \cdot n_B \cdot 2) = 704,0 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_d = \frac{N_d}{A_{\text{Nutz D}}} = 29,05 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\sigma_d}{\sigma_{R,d}} = 0,98 < 1,0$$

Bemessung der Knotenbleche bzw. Anschlussquerschnitt

Schnitt 1-1

$$H_{1-1} = H_2 - a_1 = 1260 \text{ mm}$$

$$H_{2,\min} = 880 \text{ mm} \quad \text{für } \sigma\text{-Spannung}$$

$$A_{1-1 \text{ Gesamt}} = 2085 \text{ cm}^2$$

$$A_{1-1 \text{ Steg}} = 945 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 5443006 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 2561094 \text{ cm}^4$$

$$W_z = 32956 \text{ cm}^2 \quad \text{für } H_{2,\min}$$

$$S_z = 73641 \text{ cm}^3$$

▪ Schnittkräfte an Stelle A

$$N_{d,\text{Zug}} = 1210 \text{ kN}$$

$$N_{d,\text{Druck}} = 5460 \text{ kN}$$

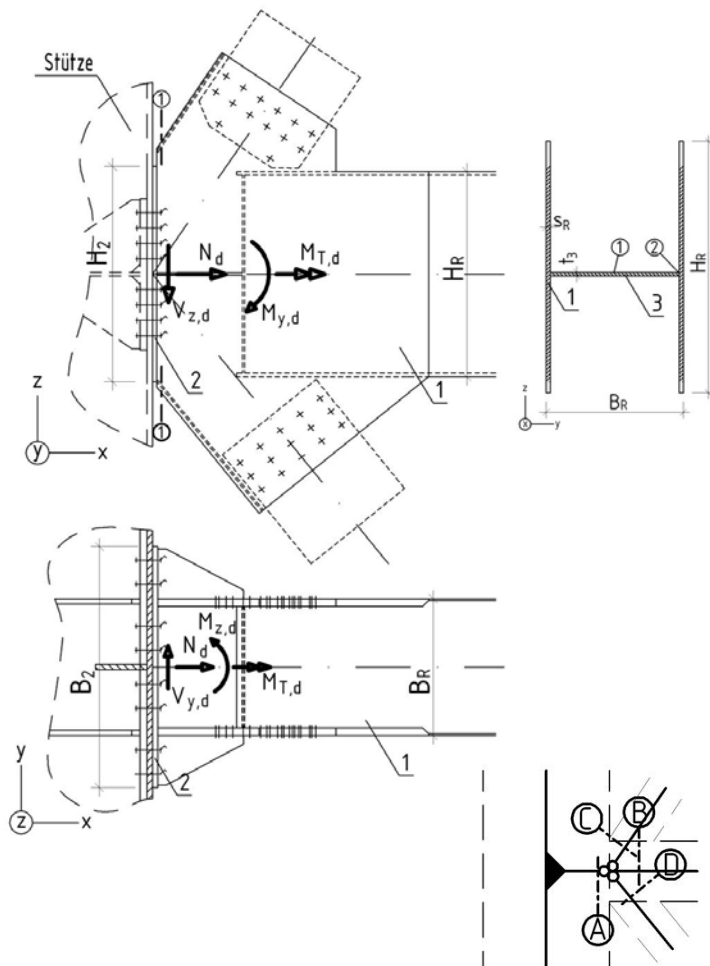
$$V_{z,d} = 19840 \text{ kN}$$

$$V_{y,d} = 170 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = 870 \text{ kNm}$$

$$M_{T,d} = 80 \text{ kNm} \rightarrow V_{T,z,d} = 106 \text{ kN}$$



▪ maßgebende Spannung an Stelle 2

$$\sigma_{2,d} = \frac{N_d}{A_{\text{Gesamt}}} + \frac{M_z}{W_z} = 6,24 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_{2,d} = \frac{(V_{y,d} \cdot (B_R - s_R) \cdot H_{1-1}) / 4}{I_z} + \frac{1,5 \cdot V_z}{H_{1-1} \cdot s_R \cdot 2} + \frac{1,5 \cdot V_{T,d}}{H_{1-1} \cdot s_R} = 15,89 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,2,d} = \sqrt{\sigma_{2,d}^2 + 3 \cdot \tau_{2,d}^2} = 28,22 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{V,2,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,96 < 1,0$$

Schnitt 2-2

$$H_{2-2} = 2475 \text{ mm}$$

$$A_{2-2 \text{ Gesamt}} = 2441 \text{ cm}^2$$

$$h_O = 718 \text{ mm}$$

$$A_{2-2 \text{ Steg}} = 1114 \text{ cm}^2$$

$$h_U = 604 \text{ mm}$$

$$I_w = 1623945922 \text{ cm}^6$$

$$I_y = 15897201 \text{ cm}^4$$

$$I_T = 15675 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 3267563 \text{ cm}^4$$

$$w_M = 4672$$

$$W_z = 58579 \text{ cm}^3$$

$$\lambda = 0,0006$$

$$S_z = 88484 \text{ cm}^3$$

$$m_T = 5,81 \text{ kNm/m}$$

▪ Schnittkräfte Riegel – Stelle B

$$N_{d,Zug} = 9610 \text{ kN}$$

$$N_{d,Druck} = 0 \text{ kN}$$

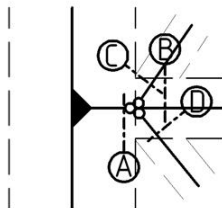
$$V_{z,d} = 160 \text{ kN}$$

$$V_{y,d} = 170 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = 870 \text{ kNm}$$

$$M_{T,d} = 80 \text{ kNm} \rightarrow V_{T,z,d} = 106 \text{ kN}$$



▪ Schnittkräfte obere Diagonale – Stelle C

$$N_{d,Zug} = 6680 \text{ kN}$$

$$N_{d,Druck} = 12100 \text{ kN}$$

Zug

Druck

$$F_{O,x,d} = \cos \alpha \cdot N_d = 3707 \text{ kN}$$

$$F_{O,x,d} = \cos \alpha \cdot N_d = 6712 \text{ kN}$$

$$F_{O,z,d} = \sin \alpha \cdot N_d = 5557 \text{ kN}$$

$$F_{O,z,d} = \sin \alpha \cdot N_d = 10068 \text{ kN}$$

▪ Schnittkräfte untere Diagonale – Stelle D

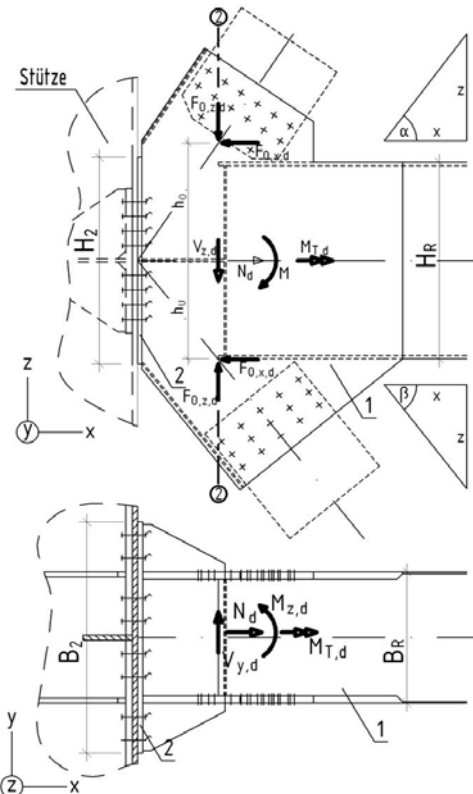
$$N_{d,Zug} = 4530 \text{ kN}$$

$$N_{d,Druck} = 20450 \text{ kN}$$

Druck

$$F_{U,x,d} = \cos \beta \cdot N_d = 12888 \text{ kN}$$

$$F_{U,z,d} = \sin \beta \cdot N_d = 15878 \text{ kN}$$



Der untere Diagonalstab leitet die maßgebenden Normalkräfte als Druckkräfte in den Knotenpunkt ein. Die Schnittkräfte des Riegels werden als Zugkräfte für den Nachweis bemessungsrelevant. Die Normalkräfte des oberen Diagonalstabs wurden als Zug- und Druckkräfte betrachtet, wobei festzustellen war, dass die für die Bemessung ausschlaggebenden Schnittgrößen in der Lastsituation am größten sind, wenn die Normalkräfte des Diagonalstabs als Zugkraft wirken. Für die jeweiligen Querschnittstellen wurden die maßgebenden Wirkrichtungen der Schnittkräfte dokumentiert.

- maßgebendes Moment, wenn F_{ox} und F_{ux} in entgegengesetzte X-Richtung wirken

$$M_d = \left(\frac{H_{2-2}}{2} - h_{U2} \right) \cdot F_{Ux,d} + \left(\frac{H_{2-2}}{2} - h_{O1} \right) \cdot F_{Ox,d} + \left(\frac{h_o + h_u}{2} \right) \cdot N_d = 10993,7 \text{ kNm}$$

- Spannung Stelle 1 (wenn F_{ox} und F_{ux} in gleiche Richtung wirken)

$$\sigma_{1,d} = \frac{F_{Ox,d} + F_{Ux,d} - N_d}{A_{\text{Gesamt}}} = 2,86 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_{1,d} = \frac{V_y \cdot S_z}{I_z \cdot t_3} = 1,53 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,1,d} = \sqrt{\sigma_{1,d}^2 + 3 \cdot \tau_{1,d}^2} = 3,90 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\sigma_{V,1,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,13 < 1,0$$

- Spannung Stelle 2 (wenn F_{ox} und F_{ux} in entgegengesetzte Richtungen wirken)

$$\sigma_{2,d} = \frac{F_{Ux,d} - F_{Ox,d} - N_d}{A_{\text{Gesamt}}} + \frac{M_{z,d}}{W_z} + \frac{M_d}{I_y} \cdot \frac{h_o - h_u}{2} = 2,05 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{2,d} = \frac{(V_{y,d} \cdot (B_R - s_R) \cdot H_{2-2}) / 4}{I_z} + \frac{(V_{z,d} + F_{Oz,d} + F_{Uz,d}) \cdot H_{2-2}^2}{8 \cdot I_y} + \frac{M_{T,d} \cdot w_M \cdot H_{2-2}}{4 \cdot I_\omega} = 14,23 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,2,d} = \sqrt{\sigma_{2,d}^2 + 3 \cdot \tau_{2,d}^2} = 24,74 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\sigma_{V,2,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,83 < 1,0$$

- Spannung Knotenblech [1]

$$\sigma_{\text{Knotenblech},d} = \left(\frac{F_{Ux,d} - F_{Ox,d} - N_{\text{Riegel},d}}{2} + \frac{M_{z,d}}{B_R - s_R} \right) / (H_R \cdot s_R) + \frac{M_d \cdot 6}{2 \cdot H_R^2 \cdot s_R} = 0,76 + 7,17 = 7,93 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\text{Kbl},d} = \frac{F_{Oz,d} / 2 + F_{Uz,d} / 2 - V_{z,d} / 2 + V_{T,d}}{H_{2-2} \cdot s_R} = 7,00 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,\text{Kbl},d} = \sqrt{\sigma_{1,d}^2 + 3 \cdot \tau_{1,d}^2} = 14,50 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{V,\text{Knotenblech},d}}{\sigma_{R,d}} = 0,49 < 1,0$$

Schnitt 3-3

$$l_1 = 385 \text{ mm}$$

$$l_2 = 658 \text{ mm}$$

$$l_{\text{Gesamt}} = l_1 + l_2 = 1043 \text{ mm}$$

$$W = \frac{l_{\text{Gesamt}}^2 \cdot t_s}{6} = 13598 \text{ cm}^3$$

- Schnittkräfte

$$N_{d,\text{Zug}} = 6680 \text{ kN}$$

$$N_{d,\text{Druck}} = 12100 \text{ kN}$$

$$F_{x,d} / 2 = 3357,7 \text{ kN}$$

$$F_{z,d} / 2 = 5033 \text{ kN}$$

$$M_b = 687,0 \text{ kNm}$$

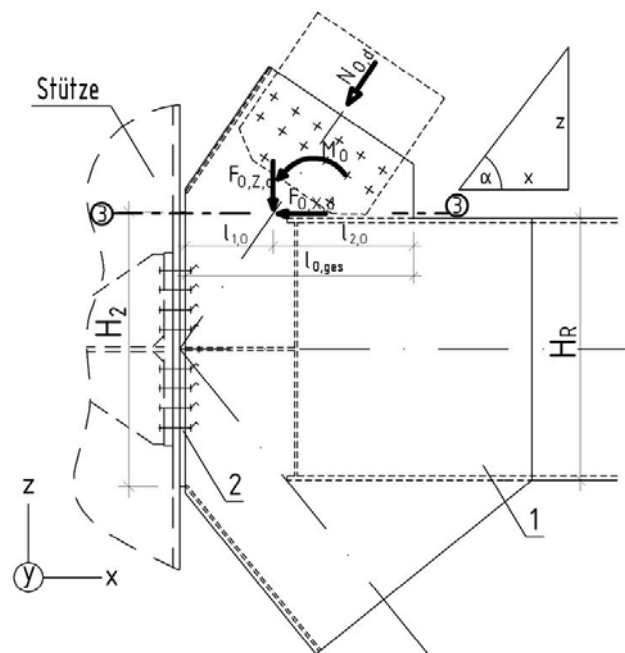
- Spannung

$$\sigma_{3-3,d} = 11,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{3-3,d} = 4,29 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,3-3,d} = 13,68 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{V,3-3,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,46 < 1,0$$



Schnitt 4-4

$$l_1 = 460\text{mm}$$

$$l_2 = 1123\text{mm}$$

$$l_{\text{Gesamt}} = l_1 + l_2 = 1583\text{mm}$$

$$W = \frac{l_{\text{Gesamt}}^2 \cdot t_s}{6} = 31323\text{cm}^3$$

▪ Schnittkräfte

$$N_{d,\text{Zug}} = 4530\text{kN} \quad N_{d,\text{Druck}} = 20450\text{kN}$$

$$F_{x,d}/2 = \cos \beta \cdot N_{d,2}/2 = 6444\text{kN}$$

$$F_{z,d}/2 = \sin \beta \cdot N_{d,2}/2 = 7939\text{kN}$$

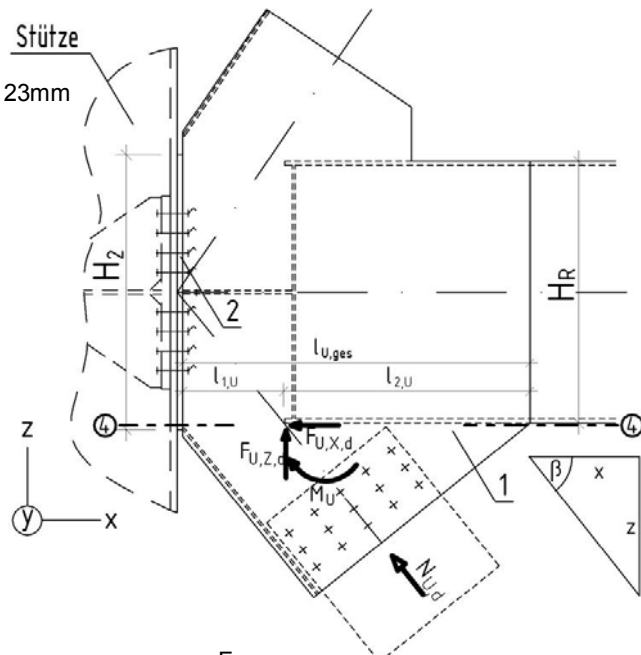
$$M_d = \frac{F_{z,d}}{2} \cdot \left(\frac{l_{\text{Gesamt}}}{2} - l_1 \right) = 2631,7\text{kNm}$$

▪ Spannung

$$\sigma_{4-4,d} = \frac{F_{z,d}}{l_{\text{Gesamt}} \cdot t_s} + \frac{M_d}{W} = 15,08\text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,4-4,d} = \sqrt{\sigma_{4-4,d}^2 + 3 \cdot \tau_{4-4,d}^2} = 17,76\text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{V,4-4,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,54 < 1,0$$



$$\tau_{4-4,d} = \frac{F_{x,d}}{l_{\text{Gesamt}} \cdot t_s} = 5,42\text{ kN/cm}^2$$

Steifen in der Stütze**▪ Abmessungen Steife [12]**

$$B_R = 800\text{mm}$$

$$H_{2,\text{min}} = 880\text{mm}$$

$$h_{12,\text{ges}} = 425\text{mm}$$

$$h_{12} = 375\text{mm}$$

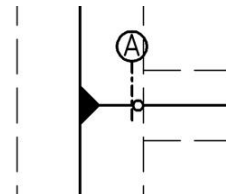
$$b_{12,\text{ges}} = 600\text{mm}$$

$$b_{12} = 550\text{mm}$$

$$t_{12} = 30\text{mm}$$

$$c = 50\text{mm}$$

$$a = 725\text{mm}$$

**▪ Schnittkräfte an der Stelle A**

$$N_{d,\text{Zug}} = 1210\text{kN}$$

$$N_{d,\text{Druck}} = 5460\text{kN}$$

$$M_{z,d} = 870\text{kNm}$$

$$N_{12,d} = 1189\text{kN}$$

$$F_{x,12} = 1789\text{kN}$$

$$F_{z,12} = 1020\text{kN}$$

▪ Spannungen Stelle 1

$$\sigma_{1,d} = 15,90\text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{1,d} = 9,06\text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{1,V,d} = 22,34\text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{1,V,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,68 < 1,0$$

▪ Spannung Stelle 2

$$\sigma_{2,d} = 12,36\text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{2,d} = 10,84\text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{2,V,d} = 22,47\text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{2,V,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,68 < 1,0$$

▪ Schweißnähte a_{12}

$$a_{12} = 12\text{mm}$$

$$l_{12} = h_{12} = 375\text{mm}$$

$$a_{\min} = 5,8\text{mm}$$

$$a_{\max} = 21,0\text{mm}$$

$$\sigma_{a12,w,d} = 19,87\text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{a12,w,d} = 11,33\text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{a12,w,V,d} = 22,87\text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{a12,w,V,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,87 < 1,0$$

▪ Schweißnähte a_{13}

$$a_{13} = 10\text{mm}$$

$$l_{13} = b_{12} = 550\text{mm}$$

$$a_{\min} = 5,0\text{mm}$$

$$a_{\max} = 14,0\text{mm}$$

$$\sigma_{a13,w,d} = 18,54\text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{a13,w,d} = 16,26\text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{a13,w,V,d} = 24,66\text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{a13,w,V,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,94 < 1,0$$

Schottblech

▪ Abmessungen Schottblech

$$L_S = 2420\text{mm}$$

$$B_S = 2420\text{mm}$$

$$B_R = 800\text{mm}$$

$$t_S = 25\text{mm}$$

$$b_X = 800\text{mm}$$

$$b_Y = 800\text{mm}$$

▪ Schnittkräfte jeweils an Stelle A

R1

$$N_{X,d,Zug} = 2940\text{kN}$$

$$N_{X,d,Druck} = 4200\text{kN}$$

$$V_{Y,y,d} = 70\text{kN}$$

$$M_{X,z,d} = 510\text{kNm}$$

R14/R21

$$N_{Y,d,Zug} = 5070\text{kN}$$

$$N_{Y,d,Druck} = 5360\text{kN}$$

$$V_{X,y,d} = 120\text{kN}$$

$$M_{Y,z,d} = 500\text{kNm}$$

▪ Schubkräfte

$$T_X = 2858\text{kN}$$

$$T_Y = 3375\text{kN}$$

▪ Schnitt S1

$$s = 1146\text{mm}$$

$$\alpha = 45^\circ$$

$$\sin \alpha = 0,707$$

$$\cos \alpha = 0,707$$

▪ Bemessung

$$N_{SX,d} = T_{SX,d} = 3129\text{kN}$$

$$N_{SY,d} = T_{SY,d} = 3347\text{kN}$$

▪ Spannungen an Schnitt S1

$$N_{S1,d} = T_{S1,d} = 3347\text{kN}$$

$$\sigma_{S1,d} = 11,68\text{ kN/cm}^2 \quad \tau_{S,d} = 11,68\text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,S,d} = 23,36\text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{V,S,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,71 < 1,0$$

$$\sigma_{S,d} = 16,32\text{ kN/cm}^2 \quad \tau_{S,d} = 14,11\text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,S,d} = 29,38\text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{V,S,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,90 < 1,0$$

▪ Spannungen an Schnitt S3

$$\sigma_{S,d} = 13,52\text{ kN/cm}^2 \quad \tau_{S,d} = 16,66\text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,S,d} = 31,86\text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{V,S,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,97 < 1,0$$

▪ Spannungen an Stelle a16

$$\sigma_{a16,d} = 6,53\text{ kN/cm}^2 \quad \tau_{a16,d} = 12,98\text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,S,d} = 23,41\text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{V,S,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,71 < 1,0$$

Schweißnähte

Die Schweißnähte der Schottbleche an die Stützenwände werden als Kehlnähte ausgeführt.

$$a_{\min} = 5,8\text{mm}$$

$$a_{\max} = 17,5\text{mm}$$

$$a_{16} = 10\text{mm} \quad l_{16} = 1040\text{mm}$$

R1

$$A_{1-1 \text{ Gesamt}} = 376\text{cm}^2 \quad A_{1-1 \text{ Steg}} = 112\text{cm}^2$$

$$N_{a16,d} = N_{3,X,d} = N_{X,d} \cdot \frac{(A_{\text{Gesamt}} - 2 \cdot A_{\text{Steg}})}{A_{\text{Gesamt}}} = 1698\text{kN}$$

$$\sigma_{a16,w,d} = 8,16\text{ kN/cm}^2 \quad \tau_{a16,w,d} = 16,22\text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{a16,w,V,d} = 18,16\text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{a16,w,V,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,70 < 1,0$$

$$a_{17} = 8\text{mm}$$

$$l_{17} = 1040\text{mm}$$

R14/R21

$$A_{1-1 \text{ Gesamt}} = 1260\text{cm}^2 \quad A_{1-1 \text{ Steg}} = 558\text{cm}^2$$

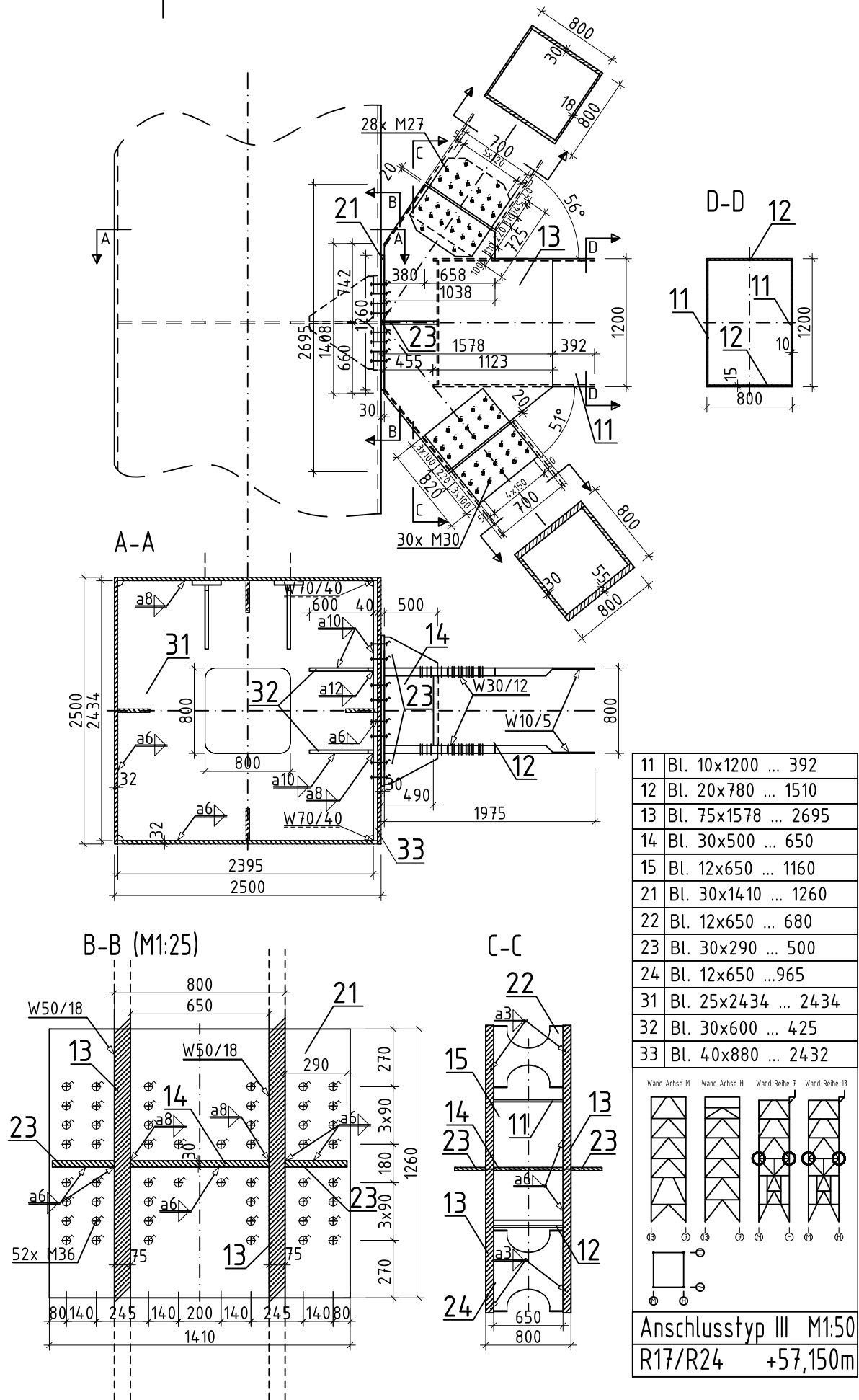
$$N_{a17,d} = N_{3,Y,d} = N_{Y,d} \cdot \frac{(A_{\text{Gesamt}} - 2 \cdot A_{\text{Steg}})}{A_{\text{Gesamt}}} = 612\text{kN}$$

$$\sigma_{a17,w,d} = 3,67\text{ kN/cm}^2 \quad \tau_{a17,w,d} = 17,17\text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{a17,w,V,d} = 17,94\text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{a17,w,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,68 < 1,0$$

→ Schweißnähte $a_{18} = a_{19} = 6\text{mm}$ konstruktiv gewählt, ohne weiteren Nachweis



D/IV Berechnung Anschlusstyp IV

Anschluss des Riegels

▪ Abmessungen Riegel [1]

$$H_R = 1200\text{mm}$$

$$B_R = 800\text{mm}$$

$$t_R = 40\text{mm}$$

$$s_R = 60\text{mm}$$

$$t_3 = 20\text{mm}$$

▪ Anschlussschnittkräfte an Stelle B

$$N_{d,Zug} = 7010\text{kN}$$

$$N_{d,Druck} = 3980\text{kN}$$

$$V_{z,d} = 2020\text{kN}$$

$$V_{y,d} = 120\text{kN}$$

$$M_{y,d} = 0\text{kNm}$$

$$M_{z,d} = 1290\text{kNm}$$

$$M_{T,d} = 3310\text{kNm} \rightarrow V_{T,z,d} = \frac{M_{T,d}}{(B_R - s_R)} = 4473\text{kN}$$

▪ Schraubenbemessung

$$d = 30\text{mm}$$

$$\Delta d = 2\text{mm}$$

$$10.9$$

$$a = 66\text{mm}$$

▪ Schraubenabstände

$$e_{R,min} = 64\text{mm}$$

$$e_{H1,min} = 192\text{mm}$$

→

$$e_{R,gewählt} = 65\text{mm}$$

$$e_{H1,gewählt} = 200\text{mm}$$

$$e_{V2,gewählt} = 80\text{mm}$$

$$e_{H2,gewählt} = 100\text{mm}$$

$$e_{V3,gewählt} = 155\text{mm}$$

$$e_{H3,gewählt} = 170\text{mm}$$

$$n_{VA} = 10$$

$$n_{VI} = 10$$

$$n_{HO} = 4$$

$$n_{HU} = 4$$

▪ Abmessungen Stirnplatte [2]

$$H_2 = 925\text{mm}$$

$$B_2 = 1070\text{mm}$$

$$t_2 = 40\text{mm}$$

▪ Grenzwerte der Schrauben

$$N_{R,d} = 334\text{kN}$$

$$V_{a,R,d} = 287\text{kN}$$

$$V_{l,R,d} = 695\text{kN}$$

Nachweis der Schrauben

▪ maßgebende vertikale Schrauben

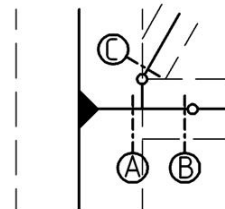
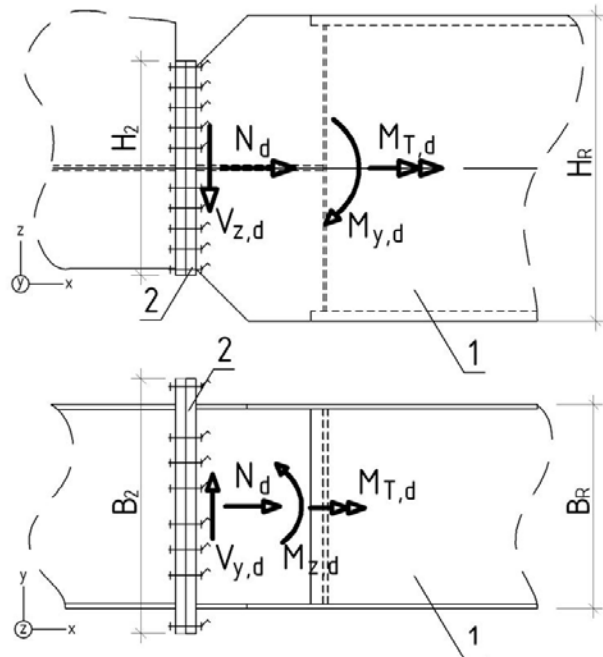
$$\frac{V_{z,d}}{2 \cdot (n_{VA} + n_{VI}) \cdot V_{a,R,d}} + \frac{V_{T,d}}{(n_{VA} + n_{VI}) \cdot V_{a,R,d}} = 0,77 < 1,0$$

$$\frac{V_{z,d}}{2 \cdot (n_{VA} + n_{VI}) \cdot V_{a,L,d}} + \frac{V_{T,d}}{(n_{VA} + n_{VI}) \cdot V_{a,L,d}} = 0,38 < 1,0$$

$$\frac{N_d}{n \cdot N_{R,d}} + \frac{N_{Mz,d}}{n_{Mz} \cdot N_{R,d}} = 0,52 < 1,0$$

$$n_{Mz} = n_{VA} + n_{VI} = 20$$

$$N_{Mz,d} = \frac{M_{z,d}}{B_R - s_R} = 1351\text{kN}$$



▪ maßgebender Interaktionsnachweis

$$\left(\frac{N_d}{(n_{VA} + n_{VI}) \cdot N_{R,d}} + \frac{N_{Mz,d}}{n_{Mz} \cdot N_{R,d}} \right)^2 + \left(\frac{V_{z,d}}{2 \cdot (n_{VA} + n_{VI}) \cdot V_{a,R,d}} + \frac{V_{T,d}}{(n_{VA} + n_{VI}) \cdot V_{a,R,d}} \right)^2 = 0,87 < 1,0$$

Nachweis der Stirnplatte [2]

$$D = 56\text{mm}$$

$$c_1 = 4,6\text{cm}$$

$$Z_d = 4454\text{kN}$$

$$V_t = 2227\text{kN}$$

$$\text{erf } s_R = 13\text{mm} < 60\text{mm} = s_R$$

$$M_d = 102,4\text{kNm}$$

$$M_{pl,d} = 133,2\text{kNm}$$

$$\frac{M_d}{M_{pl,d}} = 0,77 < 1,0$$

▪ Grenzspannungen

$$\sigma_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = 32,72\text{ kN/cm}^2$$

... Grenznormalspannung $t \leq 40\text{mm}$

$$\sigma_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = 29,54\text{ kN/cm}^2$$

... Grenznormalspannung $t > 40\text{mm}$

$$\tau_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M} = 18,89\text{ kN/cm}^2$$

... Grenzscherbanspannung $t \leq 40\text{mm}$

$$\tau_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M} = 17,05\text{ kN/cm}^2$$

... Grenzscherbanspannung $t \leq 40\text{mm}$

$$f_{y,k} = 360\text{ kN/mm}^2$$

... Streckgrenze für S335 mit $t \leq 40\text{mm}$

$$f_{y,k} = 325\text{ kN/mm}^2$$

... Streckgrenze für S335 mit $t > 40\text{mm}$

$$\gamma_M = 1,1$$

... Teilsicherheitsbeiwert

Nachweis des Anschlussquerschnittes

Schnitt 1-1

$$H_{1-1} = H_2 - 2 \cdot a_1 = 875\text{mm}$$

$$W_z = 28921\text{cm}^3$$

$$I_y = 669967\text{cm}^4$$

$$A_{1-1 \text{ Gesamt}} = 1186\text{cm}^2$$

$$I_z = 1493005\text{cm}^4$$

$$A_{1-1 \text{ Steg}} = 525\text{cm}^2$$

▪ Schnittkräfte an Stelle B

▪ maßgebende Spannung an Stelle 2

$$N_{d,Zug} = 7010\text{kN}$$

$$\sigma_{2,d} = 9,37\text{ kN/cm}^2$$

$$N_{d,Druck} = 3980\text{kN}$$

$$\tau_{2,d} = 15,80\text{ kN/cm}^2$$

$$V_{z,d} = 2020\text{kN}$$

$$\sigma_{V,2,d} = 28,92\text{ kN/cm}^2$$

$$V_{y,d} = 120\text{kN}$$

$$M_{y,d} = 0\text{kNm}$$

$$M_{z,d} = 1290\text{kNm}$$

$$\frac{\sigma_{V,2,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,98 < 1,0$$

$$M_{T,d} = 3310\text{kNm} \rightarrow V_{T,z,d} = 4473\text{kN}$$

▪ Schweißverbindung der Riegelstege [1]

▪ Schweißverbindung des Stegblechs [3]

an die Stirnplatte [2]

an die Stirnplatte [2]

$$a_1 = 18\text{mm}$$

$$a_2 = 6\text{mm}$$

$$l_1 = H_{1-1} = 875\text{mm}$$

$$l_2 = B_R - 2 \cdot s_R = 680\text{mm}$$

$$a_{\min} = 7,2\text{mm}$$

$$a_{\min} = 5,8\text{mm}$$

$$a_{\max} = 28,0\text{mm}$$

$$a_{\max} = 14,0\text{mm}$$

$$N_{a1,d} = 3103\text{kN}$$

$$N_{a2,d} = 804\text{kN}$$

$$\sigma_{a1} = 4,14 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{a1} = 17,41 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{a1,w,V,d} = 22,43 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{a1,w,V,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,86 < 1,0$$

$$\sigma_{a2} = 9,85 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{a2} = 1,47 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{a2,w,V,d} = 9,96 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{a2,w,V,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,38 < 1,0$$

Nachweis des Stegblechs [3]

$$b_3 = B_R - 2 \cdot s_R = 680 \text{ mm} \quad l_3 = 510 \text{ mm}$$

$$t_3 = 20 \text{ mm}$$

$$N_{3,d} = 804 \text{ kN}$$

▪ Spannung Stelle 1

$$\sigma_{3,d} = 5,91 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{3,d} = 0,88 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{3,V,d} = 6,11 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{3,V,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,19 < 1,0$$

▪ Spannung Stelle 2

$$\tau_{3,d} = 6,64 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau_d}{\tau_{R,d}} = 0,24 < 1,0$$

▪ Schweißnaht des Stegblechs [3]

$$a_3 = 8 \text{ mm}$$

$$l_3 = 510 \text{ mm}$$

$$a_{\min} = 7,2 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 14,0 \text{ mm}$$

$$\tau_{a3,w,V,d} = 6,40 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau_{a3,w,V,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,24 < 1,0$$

Nachweis des Schottblechs [4]

$$b_4 = 680 \text{ mm}$$

$$h_4 = 1100 \text{ mm}$$

$$t_4 = 12 \text{ mm}$$

▪ Spannung

→ konstruktiv ohne weiteren Nachweis

▪ Schweißnaht

→ konstruktiv $a_3 = 7 \text{ mm}$, einseitig umlaufende Kehlnaht, entspricht der Mindestschweißnahtdicke

Anschluss der Diagonale an den Riegel

$$H_D = 800 \text{ mm} \quad \dots \text{ Höhe Diagonale}$$

$$B_D = 800 \text{ mm} \quad \dots \text{ Breite Diagonale}$$

$$t_D = 15 \text{ mm} \quad \dots \text{ Wandstärke Gurt}$$

$$s_D = 25 \text{ mm} \quad \dots \text{ Wandstärke Steg}$$

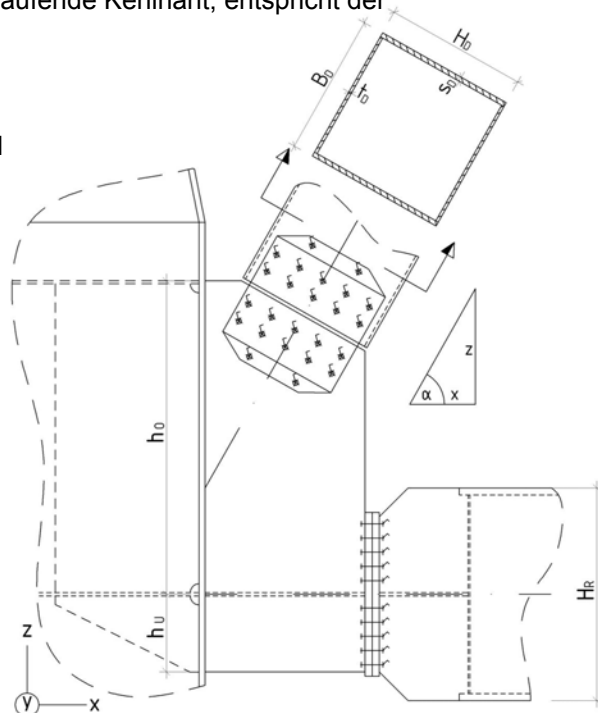
$$x = 9350 \text{ mm} \quad \dots \text{ Systemmaße}$$

$$z = 16475 \text{ mm} \quad \dots \text{ Systemmaße}$$

$$\alpha = 60,4^\circ \quad \dots \text{ Neigungswinkel}$$

$$\sin \alpha = \frac{z}{\sqrt{x^2 + z^2}} = 0,870$$

$$\cos \alpha = \frac{x}{\sqrt{x^2 + z^2}} = 0,494$$



▪ Anschlussschnittkräfte an Stelle B

$$N_{d,Zug} = 5190 \text{ kN}$$

$$N_{d,Druck} = 7920 \text{ kN}$$

▪ Schraubenbemessung

$$d = 27 \text{ mm}$$

$$\Delta d = 2 \text{ mm}$$

$$10.9$$

$$a = 60 \text{ mm}$$

▪ Schraubenabstände

$$e_{\min} = 63,8 \text{ mm}$$

$$e_{\text{gewählt}} = 110 \text{ mm}$$

$$e_{1,\min} = 34,8 \text{ mm}$$

$$e_{1,\text{gewählt}} = 95 \text{ mm}$$

$$e_{2,\min} = 34,8 \text{ mm}$$

$$e_{2,\text{gewählt}} = 50 \text{ mm}$$

$$e_{3,\min} = 69,6 \text{ mm}$$

$$e_{3,\text{gewählt}} = 150 \text{ mm}$$

$$n_L = 2 \quad \dots \text{ Anzahl der Schrauben in Krafrichtung}$$

$$n_B = 5 \quad \dots \text{ Anzahl der Schrauben } \perp \text{ zur Krafrichtung}$$

$$n_{\text{Blech}} = 4 \quad \dots \text{ Anzahl der Verbindungsbleche}$$

▪ Abmessungen der Verbindungsbleche

$$L = ((n_L - 1) \cdot e + 2 \cdot e_1) \cdot 2 + 20 \text{ mm} = 620 \text{ mm} \quad B = (n_B - 1) \cdot e_3 + 2 \cdot e_2 = 700 \text{ mm}$$

$$t_{\text{Blech}} = 15 \text{ mm}$$

▪ Grenzwerte der Schrauben

$$V_{a,R,d} = 287 \text{ kN}$$

$$V_{l,R,d} = 730 \text{ kN}$$

▪ Nachweis der Schrauben

$$\frac{N_d}{n \cdot V_{a,R,d}} = 0,69 < 1,0$$

$$\frac{V_{n,d}}{n \cdot V_{l,R,d}} = 0,54 < 1,0$$

▪ Nachweis des Nettoquerschnitts der Verbindungsbleche

$$A_{\text{Nutz L}} = b \cdot t - ((d + \Delta d) \cdot t \cdot n_B) = 83,3 \text{ cm}^2 \quad \sigma_d = \frac{N_d}{n_{\text{Blech}} \cdot A_{\text{Nutz L}}} = 23,78 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\sigma_d}{\sigma_{R,d}} = 0,73 < 1,0$$

▪ Nachweis des Nettoquerschnitts der Diagonalen

$$A_{\text{Nutz D}} = (H_D \cdot s_D \cdot 2) - ((d + \Delta d) \cdot s \cdot n_B \cdot 2) = 327,5 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_d = \frac{N_d}{A_{\text{Nutz D}}} = 24,18 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_d}{\sigma_{R,d}} = 0,74 < 1,0$$

Anschlusspunkt zur Stütze

Stegblech [6]

$$b_6 = B_R - 2 \cdot t_{\text{Knotenblech}} = 720 \text{ mm} \quad \dots \text{ Breite}$$

$$l_6 = 900 \text{ mm} \quad \dots \text{ Länge}$$

$$t_6 = 20 \text{ mm} \quad \dots \text{ Materialstärke}$$

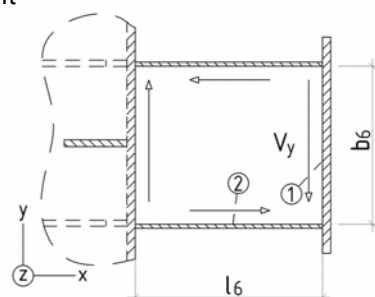
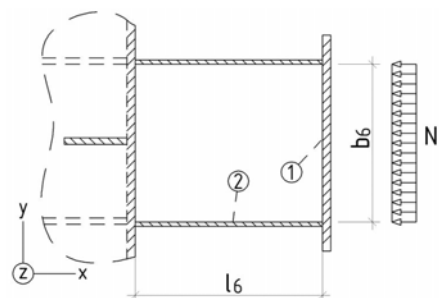
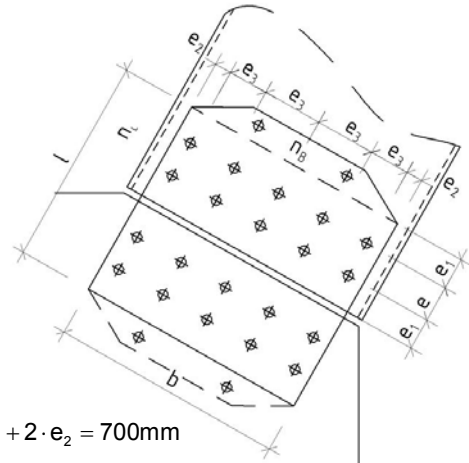
$$N_{6,d} = N_{3,d} = 804 \text{ kN} \quad \dots \text{ anteilige Normalkraft}$$

▪ Spannung Stelle 1

$$\sigma_{6,d} = \frac{N_{6,d}}{b_6 \cdot t_6} = 5,58 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{6,d} = \frac{V_{y,d}}{b_6 \cdot t_6} = 0,83 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,6,d} = \sqrt{\sigma_{6,d}^2 + 3 \cdot \tau_{6,d}^2} = 5,76 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\sigma_{V,6,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,17 < 1,0$$



Spannung Stelle 2

$$T_{6,d} = \frac{V_{y,d} \cdot I_6}{b_6} = 15 \text{ kN/cm}$$

$$\tau_{6,d} = \frac{T}{t_6} = 0,75 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau_{6,d}}{\tau_{R,d}} = 0,04 < 1,0$$

Schweißnaht Stegblech

$$a_6 = 6 \text{ mm}$$

$$a_{\min} = 5,8 \text{ mm}$$

$$I_6 = 900 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 14,0 \text{ mm}$$

$$T_{a6,w,d} = \frac{V_{y,d} \cdot I_6}{b_6}$$

$$\tau_{6,w,d} = \frac{T_{a6,w,d}}{2 \cdot a_6} = 12,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau_{a3,w,V,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,47 < 1,0$$

$$a_7 = 6 \text{ mm}$$

$$a_{\min} = 5,8 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 14,0 \text{ mm}$$

$$I_7 = 720 \text{ mm}$$

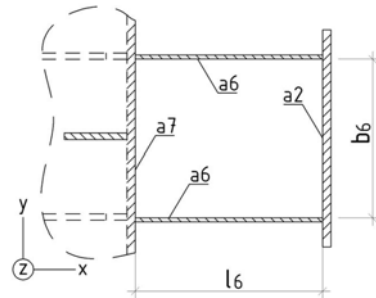
$$N_{6,d} = N_{3,d} = 804 \text{ kN}$$

$$\sigma_{7,w,d} = \frac{N_{6,d}}{2 \cdot a_7 \cdot b_7} = 9,30 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{7,w,d} = \frac{V_{y,d}}{2 \cdot a_7 \cdot I_7} = 1,38 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{7,w,V,d} = \sqrt{\sigma_{7,w,d}^2 + \tau_{7,w,d}^2} = 9,40 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{7,V,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,35 < 1,0$$



Schnitt 1-1

$$H_{1-1} = 2207 \text{ mm}$$

$$h_0 = 1769 \text{ mm}$$

$$I_y = 9404697 \text{ cm}^4$$

$$B_R = 800 \text{ mm}$$

$$h_u = 438 \text{ mm}$$

$$I_z = 2614089 \text{ cm}^4$$

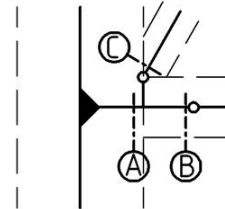
$$t_6 = 20 \text{ mm}$$

$$A_{1-1 \text{ Gesamt}} = 1910 \text{ cm}^2$$

$$W_z = 46457 \text{ cm}^3$$

$$s_{KBI} = 40 \text{ mm}$$

$$A_{1-1 \text{ Steg}} = 883 \text{ cm}^2$$



Schnittkräfte an Stelle A

$$N_{d,Zug} = 3350 \text{ kN}$$

$$N_{d,Druck} = 1680 \text{ kN}$$

$$V_{y,d} = 150 \text{ kN}$$

$$V_{z,d} = 8250 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 2860 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = 1090 \text{ kNm}$$

$$M_{T,d} = 3430 \text{ kNm} \rightarrow V_{T,z,d} = \frac{M_{T,d}}{(B_R - s_R)} = 4513 \text{ kN}$$

Schnittkräfte an Stelle B

$$N_{d,Zug} = 7010 \text{ kN}$$

$$N_{d,Druck} = 3980 \text{ kN}$$

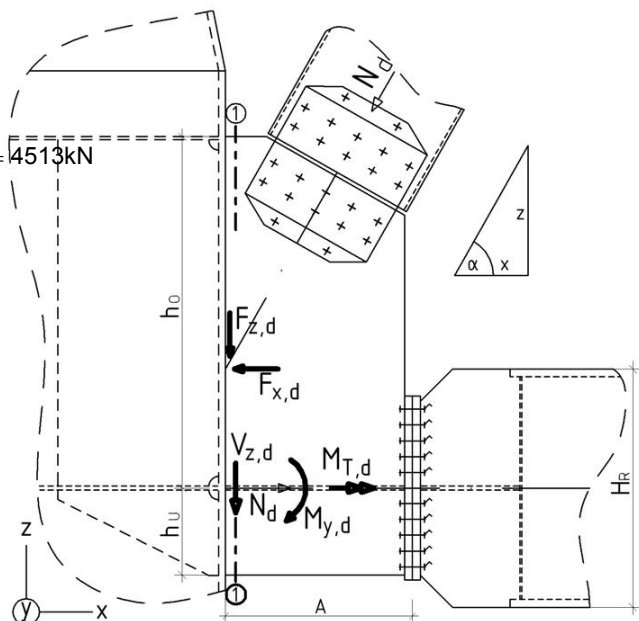
$$V_{z,d} = 2020 \text{ kN}$$

$$V_{y,d} = 120 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = 1290 \text{ kNm}$$

$$M_{T,d} = 3310 \text{ kNm} \rightarrow V_{T,z,d} = 4473 \text{ kN}$$



▪ Schnittkräfte an Stelle C

$$N_{d,Zug} = 5190 \text{ kN}$$

$$N_{d,Druck} = 7920 \text{ kN}$$

$$F_{x,d} = \cos \alpha \cdot N_d = 3912 \text{ kN}$$

$$F_{z,d} = \sin \alpha \cdot N_d = 6890 \text{ kN}$$

▪ maßgebende Spannung an Stelle 2 (Schnittkräfte Stelle A)

$$\sigma_{2,d} = \frac{N_d}{A_{\text{Gesamt}}} + \frac{M_{z,d}}{W_z} + \frac{M_{y,d}}{I_y} \cdot \left(\frac{H_{1-1}}{2} - h_U \right) = 6,12 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{2,d} = \frac{(V_{y,d} \cdot (B_R - s_{KBl}) \cdot H_{1-1}) / 4}{I_z} + \frac{1,5 \cdot V_{z,d}}{H_{1-1} \cdot s_R \cdot 2} + \frac{1,5 \cdot V_{T,d}}{H_{1-1} \cdot s_R} = 14,88 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,2,d} = \sqrt{\sigma_{2,d}^2 + 3 \cdot \tau_{2,d}^2} = 26,49 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{V,2,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,81 < 1,0$$

▪ Spannung Knotenblech

$$M_d = \left(\left((h_o + h_U) / 2 - (h_U + H_R / 2) \right) \cdot F_z \right) - \left((h_o + h_U) / 2 - h_U \right) \cdot N_d + V_{z,d} \cdot A = 3298 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{KBl,d} = \left(\left(N_d - \frac{A_{\text{Steg}}}{A_{\text{Gesamt}}} \cdot F_{x,d} \right) + \frac{M_{z,d}}{B_R - t_{KBl}} \right) / (H_{1-1} \cdot t_{KBl}) + \frac{M_d \cdot 6}{2 \cdot H_{1-1}^2 \cdot t_{KBl}} = 9,56 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{KBl,d} = \frac{F_{z,d} / 2 + V_{z,d} / 2 + V_{T,d}}{H_{1-1} \cdot t_{KBl}} = 9,98 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,KBl,d} = \sqrt{\sigma_{KBl,d}^2 + 3 \cdot \tau_{KBl,d}^2} = 19,75 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{V,Knotenblech,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,60 < 1,0$$

▪ Schweißnähte a₅

$$a_5 = 10 \text{ mm}$$

$$l_5 = H_{1-1} = 720 \text{ mm}$$

$$a_{\min} = 5,8 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 23,8 \text{ mm}$$

$$N_{5,d} = N_d \cdot \frac{A_{\text{Steg}}}{A_{\text{Gesamt}}} = 1434 \text{ kN}$$

$$\sigma_{a5} = \frac{N_{a5,d}}{2 \cdot l_5 \cdot a_5} + \frac{M_{z,d} / (B_R - s_{KBl})}{2 \cdot l_5 \cdot a_5} + \frac{M_d \cdot 6}{2 \cdot H_{1-1}^2 \cdot t_{KBl}} = 6,51 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{a5,w,V,d} = \sqrt{\sigma_{a5}^2 + \tau_{a5}^2} = 21,19 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{a5} = \frac{V_{z,d} / 2 + V_{T,d}}{2 \cdot l_5 \cdot a_5} = 20,17 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{a5,w,V,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,81 < 1,0$$

▪ Schweißnähte a₇

$$a_7 = 6 \text{ mm}$$

$$l_7 = 720 \text{ mm}$$

$$a_{\min} = 5,8 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 14,0 \text{ mm}$$

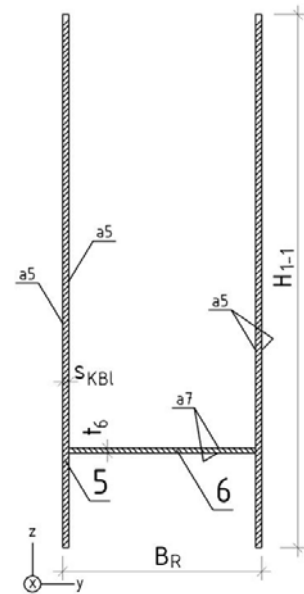
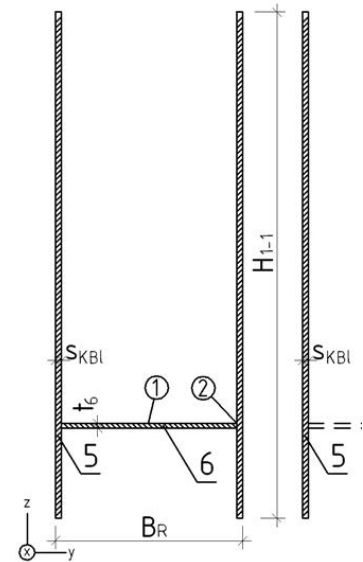
$$N_{7,d} = N_d \cdot \frac{(A_{\text{Gesamt}} - 2 \cdot A_{\text{Steg}})}{A_{\text{Gesamt}}} = 234 \text{ kN}$$

$$\sigma_{a7} = \frac{N_{a7,d}}{2 \cdot l_7 \cdot a_7} = 2,71 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{a7} = \frac{V_{y,d}}{2 \cdot l_7 \cdot a_7} = 1,50 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{a7,w,V,d} = \sqrt{\sigma_{a7}^2 + \tau_{a7}^2} = 3,10 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{a7,w,V,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,12 < 1,0$$



Verstärkung Stützenwand [21]

Hier werden keine Bleche zur Verstärkung der Stützenwände erforderlich.

▪ Schweißnahtverbindung der Stützenwände

$$T = \frac{V_{y,d}}{B_s} + \frac{V_{z,d}/2 + V_{T,d}}{H_{1-1}} = 39,8 \text{ kN/cm}$$

$$\tau_d = \frac{T}{t_s} = \frac{39,8 \text{ kN/cm}}{3,4 \text{ cm}} = 11,70 \text{ kN/cm}^2 < \tau_{R,d} = 18,89 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{w,d} = \frac{T}{\Delta a} = \frac{39,8 \text{ kN/cm}}{1,8 \text{ cm}} = 22,11 \text{ kN/cm}^2 < \tau_{w,R,d} = 26,18 \text{ kN/cm}^2$$

Für den Querschnittabschnitt S4 wurde in Kapitel 4 bzw. der dazugehörigen Statik (Seite VII-2) in der Anlage eine Schweißnahtstärke des Stützenquerschnittes von $a_{\text{eff}} = 3,1 \text{ mm}$ ermittelt. Aufgrund des kompakten Anschlusses und der großen Querkkräfte, sind die Schweißnähte in diesem Bereich als $a = a_{\text{eff}} + \Delta a = 21,1 \text{ cm} \approx 22 \text{ mm}$ auszuführen.

Steife Stütze

▪ Abmessungen Steife [14]

$$H_{1-1} = 2205 \text{ mm} \quad \dots \text{ Höhe Schnitt 1-1}$$

$$h_{14} = h_{14,\text{ges}} - 2 \cdot c = 1644 \text{ mm} \quad \dots \text{ Höhe}$$

$$b_{14} = 800 \text{ mm} \quad \dots \text{ Breite}$$

$$t_{14} = 40 \text{ mm} \quad \dots \text{ Wandstärke}$$

$$c = 50 \text{ mm} \quad \dots \text{ Ausklinkung}$$

$$h_{14,\text{ges}} = 1744 \text{ mm} \quad \dots \text{ Gesamthöhe}$$

$$b_{14,\text{ges}} = 850 \text{ mm} \quad \dots \text{ Gesamtbreite}$$

$$a = B_R - t_{14} = 760 \text{ mm} \quad \dots \text{ Abstand Steifen}$$

$$A_{1-1 \text{ Gesamt}} = 1908 \text{ cm}^2$$

$$A_{1-1 \text{ Steg}} = 882 \text{ cm}^2$$

▪ Schnittkräfte

$$N_{d,\text{Zug}} = 3350 \text{ kN}$$

$$N_{d,\text{Druck}} = 1680 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 2860 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = 1090 \text{ kNm}$$

$$N_{14,d} = N_d \cdot \frac{A_{\text{Steg}}}{A_{\text{Gesamt}}} = 1549 \text{ kN}$$

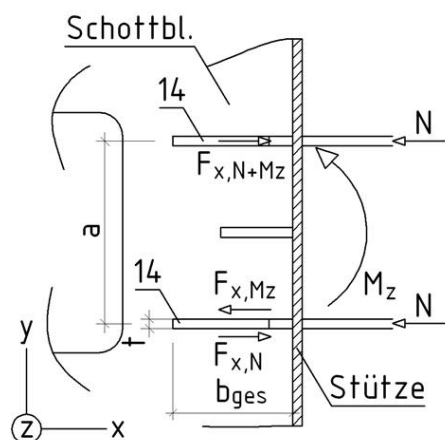
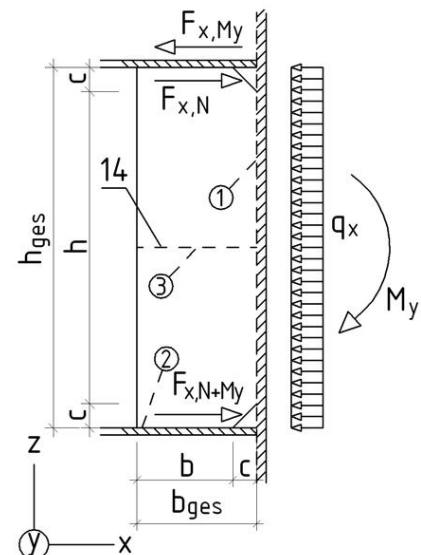
$$q_x = \frac{N_{14,d}}{h_{14}} + \frac{M_{z,d}}{2 \cdot a} = 1299 \text{ kN/m}$$

$$F_x = \frac{N_{14,d}}{2} + \frac{M_{y,d}}{h_{\text{ges}}} = 2414 \text{ kN/m}$$

▪ Spannungen Stelle1

$$\sigma_{1,d} = \frac{N_{14,d}}{h_{14} \cdot t_{14}} = 18,23 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{1,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,55 < 1,0$$



Spannung Stelle 2

$$\tau_{2,d} = \frac{N_{14,d}}{2 \cdot b_{14} \cdot t_{14}} = 7,54 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\tau_{2,d}}{\tau_{R,d}} = 0,40 < 1,0$$

Spannung Stelle 3

$$\sigma_{3,d} = \frac{q_x \cdot h_{14}^2 \cdot 6}{8 \cdot b_{14}^2 \cdot t_{14}} = 10,25 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\sigma_{3,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,31 < 1,0$$

Schweißnähte a₁₄

$$a_{14} = 14 \text{ mm}$$

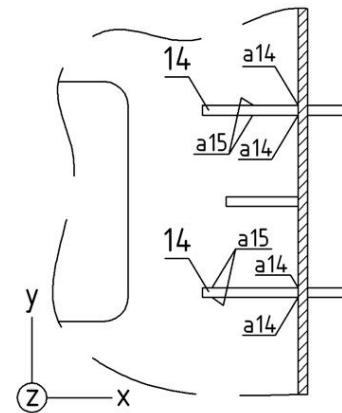
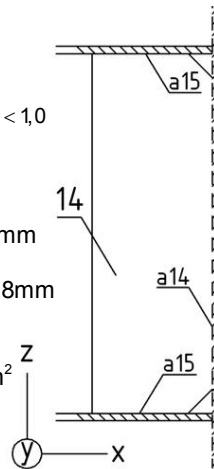
$$l_{14} = h_{14} = 1466 \text{ mm}$$

$$\sigma_{a14,w,d} = \frac{N_{14,d}}{2 \cdot h_{14} \cdot a_{14}} + \frac{M_{y,d}}{h_{14}^2 \cdot 2 \cdot a_{14}} = 26,04 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{a14,w,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,99 < 1,0$$

$$a_{\min} = 5,8 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 23,8 \text{ mm}$$



Schweißnähte a₁₅

$$a_{15} = 8 \text{ mm}$$

$$l_{15} = b_{15} = 800 \text{ mm}$$

$$a_{\min} = 5,8 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 14,0 \text{ mm}$$

$$\tau_{a15,w,d} = \frac{N_{14,d}/2 + M_{y,d}/h_{15,ges}}{2 \cdot b_{15} \cdot a_{15}} = 18,86 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau_{a15,w,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,72 < 1,0$$

Schottblech

Abmessungen Schottblech

$$L_S = 2432 \text{ mm}$$

$$B_S = 2432 \text{ mm}$$

$$B_R = 800 \text{ mm}$$

$$h_O = 1764 \text{ mm}$$

$$t_S = 40 \text{ mm}$$

$$b_X = 800 \text{ mm}$$

$$b_Y = 800 \text{ mm}$$

Schnittkräfte jeweils an Stelle A

R18/R25

$$N_{x,d,Zug} = 3350 \text{ kN}$$

$$N_{x,d,Druck} = 1680 \text{ kN}$$

$$V_{y,y,d} = 150 \text{ kN}$$

$$M_{x,y,d} = 2860 \text{ kNm}$$

$$M_{x,z,d} = 1090 \text{ kNm}$$

Schubkräfte

$$T_x = \frac{N_x}{2} + \frac{M_{x,z,d}}{B_R} + \frac{M_{x,y,d}}{h_O} = 5868 \text{ kN}$$

$$T_y = V_y = 150 \text{ kN}$$

Schnitt s

$$s = 1154 \text{ mm}$$

$$\alpha = 45^\circ$$

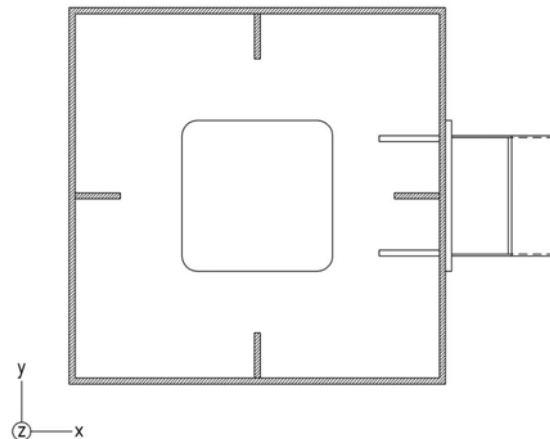
$$\sin \alpha = 0,707$$

$$\cos \alpha = 0,707$$

Bemessung

$$N_{sX,d} = \left(\frac{N_x}{2} + \frac{M_{x,z,d}}{B_R} + \frac{M_{x,y,d}}{h_O} \right) \cdot \sin \alpha + \frac{T_y}{2} \cdot \cos \alpha = 4202 \text{ kN}$$

$$T_{sX,d} = \left(\frac{N_x}{2} + \frac{M_{x,z,d}}{B_R} + \frac{M_{x,y,d}}{h_O} \right) \cdot \cos \alpha + \frac{T_y}{2} \cdot \sin \alpha = 4202 \text{ kN}$$



▪ Spannungen S1

$$\sigma_{S,d} = 9,10 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{S,d} = 9,10 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,S,d} = 18,20 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{V,S,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,55 < 1,0$$

▪ Spannungen an Schnitt S2

$$\sigma_{S,d} = 0,46 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{S,d} = 17,97 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,S,d} = 31,12 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau_{S,d}}{\tau_{R,d}} = 0,95 < 1,0$$

$$\frac{\sigma_{V,S,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,95 < 1,0$$

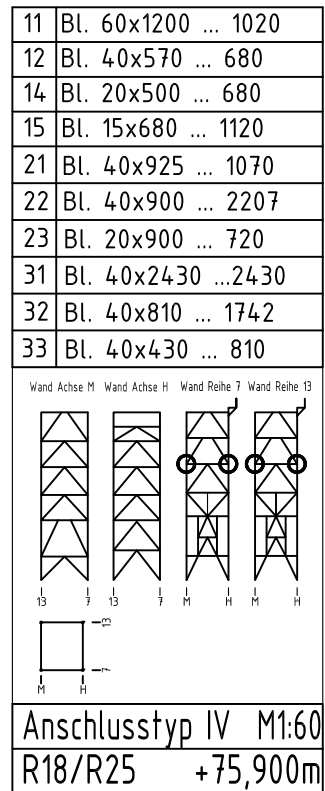
▪ Schweißnähte

Die Schweißnähte der Schottbleche an die Stützenwände werden als Kehlnähte ausgeführt.

$$a_{\min} = 5,8 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 23,8 \text{ mm}$$

→ alle Schweißnähte werden aufgrund der geringen Auslastung mit der Mindestnahtdicke als $a_{16} = a_{17} = a_{18} = a_{19} = 6 \text{ mm}$ ausgeführt.



D/V Berechnung Anschlusstyp V

Anschluss des Riegels

▪ Abmessungen Riegel [1]

$$H_R = 1550\text{mm}$$

$$B_R = 800\text{mm}$$

$$t_R = 50\text{mm}$$

$$s_R = 40\text{mm}$$

$$t_3 = 30\text{mm}$$

▪ Anschlussschnittkräfte an Stelle A

$$N_{d,\text{Zug}} = 22260\text{kN}$$

$$N_{d,\text{Druck}} = 0\text{kN}$$

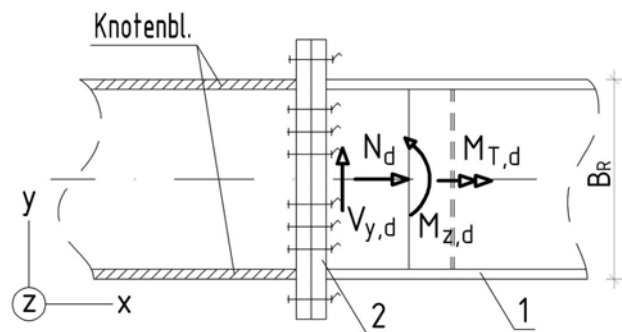
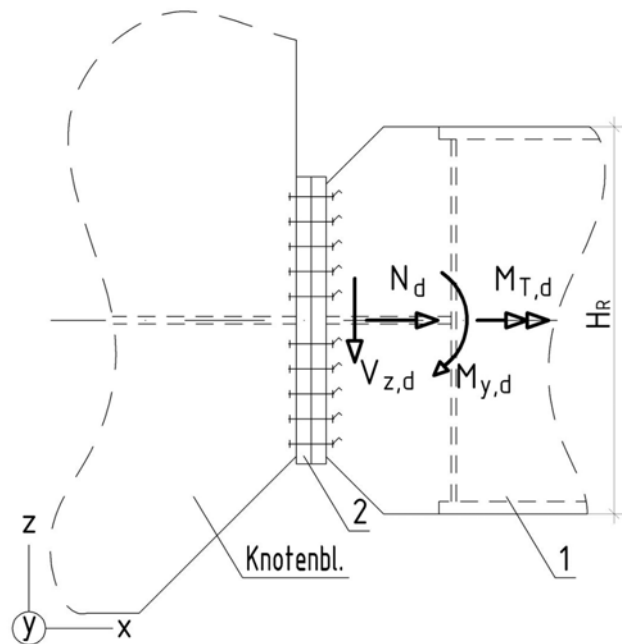
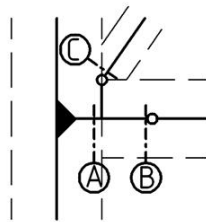
$$V_{z,d} = 1540\text{kN}$$

$$V_{y,d} = 130\text{kN}$$

$$M_{y,d} = 0\text{kNm}$$

$$M_{z,d} = 1270\text{kNm}$$

$$M_{T,d} = 590\text{kNm} \rightarrow V_{T,z,d} = 776\text{kN}$$



▪ Schraubenbemessung

$$d = 36\text{mm}$$

$$\Delta d = 2\text{mm}$$

$$10.9$$

$$a = 81\text{mm}$$

▪ Schraubenabstände

$$e_{R,\text{min}} = 76\text{mm}$$

$$e_{R,\text{gewählt}} = 80\text{mm}$$

$$e_{H1,\text{min}} = 200\text{mm}$$

$$e_{H1,\text{gewählt}} = 200\text{mm}$$

→

$$e_{V2,\text{gewählt}} = 100\text{mm}$$

$$e_{H2,\text{gewählt}} = 90\text{mm}$$

$$e_{V3,\text{min}} = 190\text{mm}$$

$$e_{V3,\text{gewählt}} = 190\text{mm}$$

$$e_{H3,\text{min}} = 196\text{mm}$$

$$e_{H3,\text{gewählt}} = 200\text{mm}$$

$$n_{VA} = 10$$

$$n_{VI} = 10$$

$$n_{HO} = 4$$

$$n_{HU} = 4$$

▪ Abmessungen Stirnplatte [2]

$$H_2 = 1150\text{mm}$$

$$B_2 = 1120\text{mm}$$

$$t_2 = 60\text{mm}$$

▪ Grenzwerte der Schrauben

$$N_{R,d} = 594\text{kN}$$

$$V_{a,R,d} = 509\text{kN}$$

$$V_{l,R,d} = 807\text{kN}$$

Nachweis der Schrauben

- maßgebende vertikale Schrauben

$$\frac{V_{z,d}}{2 \cdot (n_{VA} + n_{VI}) \cdot V_{a,R,d}} + \frac{V_{T,d}}{(n_{VA} + n_{VI}) \cdot V_{a,R,d}} = 0,15 < 1,0$$

$$\frac{V_{z,d}}{2 \cdot (n_{VA} + n_{VI}) \cdot V_{a,L,d}} + \frac{V_{T,d}}{(n_{VA} + n_{VI}) \cdot V_{a,L,d}} = 0,10 < 1,0$$

$$\frac{N_d}{n \cdot N_{R,d}} + \frac{N_{Mz,d}}{n_{Mz} \cdot N_{R,d}} = 0,92 < 1,0$$

$$n_{Mz} = n_{VA} + n_{VI} = 20$$

$$N_{Mz,d} = \frac{M_{z,d}}{B_R - s_R} = 1671 \text{ kN}$$

- maßgebender Interaktionsnachweis

$$\left(\frac{N_d}{(n_{VA} + n_{VI}) \cdot N_{R,d}} + \frac{N_{Mz,d}}{n_{Mz} \cdot N_{R,d}} \right)^2 + \left(\frac{V_{z,d}}{2 \cdot (n_{VA} + n_{VI}) \cdot V_{a,R,d}} + \frac{V_{T,d}}{(n_{VA} + n_{VI}) \cdot V_{a,R,d}} \right)^2 = 0,87 < 1,0$$

$$\left(\frac{N_d}{n \cdot N_{R,d}} \right)^2 + \left(\frac{V_y}{(n_{HO} + n_{HU}) \cdot V_{I,R,d}} \right)^2 = 0,61 < 1,0$$

Nachweis der Stirnplatte [2]

$$D = 66 \text{ mm}$$

$$c_1 = 4,9 \text{ cm}$$

$$Z_d = 10608 \text{ kN}$$

$$V_t = 5304 \text{ kN}$$

$$s_{R, \text{eff}} = 25 \text{ mm} < 40 \text{ mm} = s_R$$

$$M_d = 257,2 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,d} = 336,4 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_d}{M_{pl,d}} = 0,76 < 1,0$$

- Grenzspannungen $t \leq 40 \text{ mm}$

$$\sigma_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = 32,72 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M} = 18,89 \text{ kN/cm}^2$$

- Grenzspannungen $t > 40 \text{ mm}$

$$\sigma_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = 29,54 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M} = 17,05 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis des Anschlussquerschnittes

Schnitt 1-1

$$H_{1-1} = H_2 - 2 \cdot a_1 = 1100 \text{ mm}$$

$$A_{1-1 \text{ Gesamt}} = 1096 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 887495 \text{ cm}^4$$

$$A_{1-1 \text{ Steg}} = 440 \text{ cm}^2$$

$$I_z = 1365205 \text{ cm}^4$$

$$W_z = 25899 \text{ cm}^3$$

- Schnittkräfte an Stelle B

$$N_{d,Zug} = 22260 \text{ kN}$$

$$N_{d,Druck} = 0 \text{ kN}$$

$$V_{z,d} = 1540 \text{ kN}$$

$$V_{y,d} = 130 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = 1270 \text{ kNm}$$

$$M_{T,d} = 590 \text{ kNm} \rightarrow V_{T,z,d} = 776 \text{ kN}$$

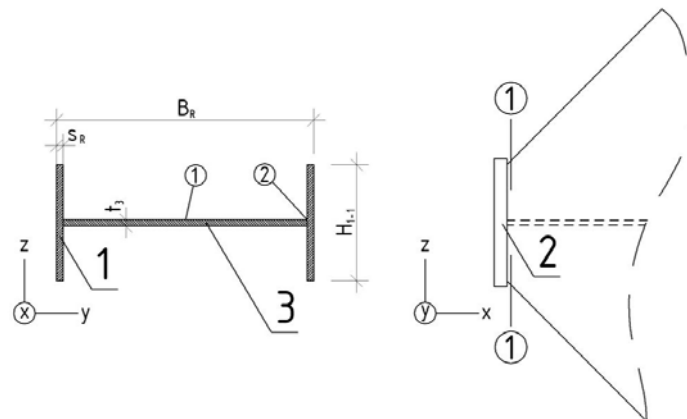
- Spannung Stelle 1

$$\sigma_{1,d} = 20,31 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{1,d} = 1,15 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,1,d} = 20,41 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{V,1,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,62 < 1,0$$



▪ Spannung Stelle 2

$$\sigma_{2,d} = 25,21 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_{2,d} = 5,98 \text{ kN/cm}^2 \quad \sigma_{V,2,d} = 27,25 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\sigma_{V,2,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,83 < 1,0$$

▪ Schweißverbindung der Riegelstege [1] an die Stirnplatte [2]

$$a_1 = 20 \text{ mm} \quad l_1 = H_{1-1} = 1100 \text{ mm} \quad a_{\min} = 7,2 \text{ mm} \quad a_{\max} = 28,0 \text{ mm}$$

$$N_{a1,d} = N_d \cdot \frac{A_{\text{Steg}}}{A_{\text{Gesamt}}} = 8936 \text{ kN}$$

$$\sigma_{a1} = 24,11 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_{a1} = 3,51 \text{ kN/cm}^2 \quad \sigma_{a1,w,V,d} = 24,36 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\sigma_{a1,w,V,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,93 < 1,0$$

▪ Schweißverbindung des Stegblechs [3] an die Stirnplatte [2]

$$a_2 = 12 \text{ mm} \quad l_2 = B_R - 2 \cdot s_R = 720 \text{ mm} \quad a_{\min} = 7,2 \text{ mm} \quad a_{\max} = 21,0 \text{ mm}$$

$$N_{a2,d} = N_d \cdot \frac{A_{\text{Gesamt}} - 2 \cdot A_{\text{Steg}}}{A_{\text{Gesamt}}} = 4387 \text{ kN}$$

$$\sigma_{a2} = 25,39 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_{a2} = 0,75 \text{ kN/cm}^2 \quad \sigma_{a2,w,V,d} = 25,40 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\sigma_{a2,w,V,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,97 < 1,0$$

Nachweis des Stegblechs [3]

$$b_3 = 720 \text{ mm} \quad l_3 = 1040 \text{ mm} \quad t_3 = 30 \text{ mm}$$

$$N_{3,d} = 4387 \text{ kN}$$

▪ Spannung Stelle 1

$$\sigma_{3,d} = 20,31 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_{3,d} = 0,60 \text{ kN/cm}^2 \quad \sigma_{3,V,d} = 20,34 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\sigma_{3,V,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,62 < 1,0$$

▪ Spannung Stelle 2

$$\tau_{3,d} = 7,63 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\tau_{3,d}}{\tau_{R,d}} = 0,40 < 1,0$$

▪ Schweißnaht des Stegblechs [3]

$$a_3 = 10 \text{ mm} \quad l_3 = 1040 \text{ mm} \quad a_{\min} = 5,8 \text{ mm} \quad a_{\max} = 21,0 \text{ mm}$$

$$\tau_{a3,w,d} = 22,89 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\tau_{a3,w,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,87 < 1,0$$

Nachweis des Schottblechs [4]

$$b_4 = 720 \text{ mm} \quad h_4 = 1450 \text{ mm} \quad t_4 = 12 \text{ mm}$$

▪ Spannung

→ konstruktiv ohne weiteren Nachweis

▪ Schweißnaht

→ konstruktiv $a_3 = 7 \text{ mm}$, einseitig umlaufende Kehlnaht, entspricht der Mindestschweißnahtdicke

Anschluss der Diagonale an den Riegel

$$H_D = 800\text{mm}$$

$$B_D = 800\text{mm}$$

$$t_D = 70\text{mm}$$

$$s_D = 70\text{mm}$$

$$x = 11127\text{mm}$$

$$z = 16010\text{mm}$$

$$\alpha = 55,2^\circ$$

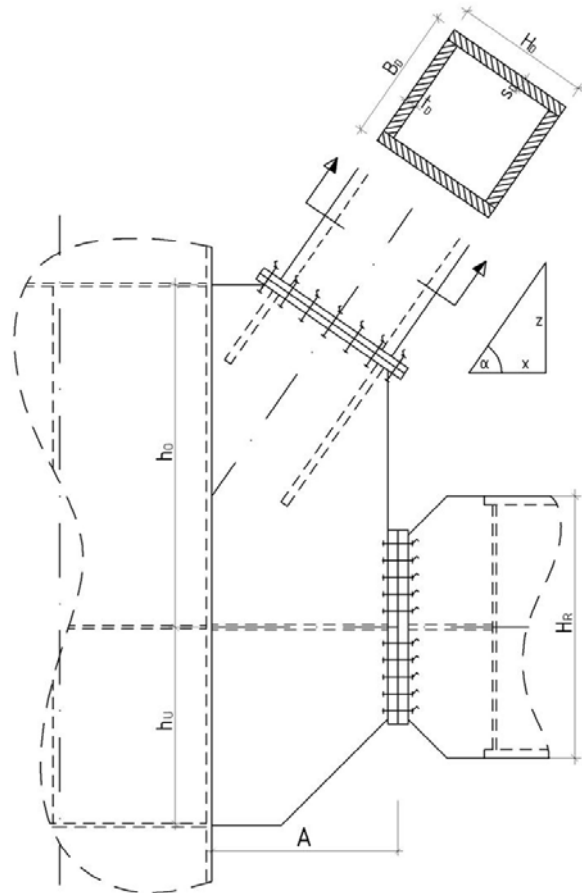
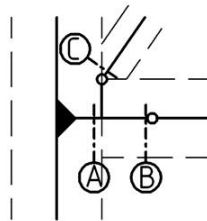
$$\sin \alpha = \frac{z}{\sqrt{x^2 + z^2}} = 0,821$$

$$\cos \alpha = \frac{x}{\sqrt{x^2 + z^2}} = 0,571$$

▪ Anschlussschnittkräfte an Stelle C

$$N_{d,Zug} = 0\text{kN}$$

$$N_{d,Druck} = 41570\text{kN}$$



▪ Schraubenbemessung

$$d = 27\text{mm}$$

$$\Delta d = 2\text{mm}$$

$$10.9$$

$$a = 60\text{mm}$$

▪ Schraubenabstände

$$e_{R,min} = (d + \Delta d) \cdot 2 = 58\text{mm}$$

$$e_{X,1,min} = a \cdot 2 = 120\text{mm}$$

$$e_{Y,1,min} = a \cdot 2 + t_{KBI} = 160\text{mm}$$

$$e_{R,gewählt} = 60\text{mm}$$

$$e_{X,1,gewählt} = 150\text{mm}$$

$$\rightarrow e_{Y,1,gewählt} = 160\text{mm}$$

$$e_{Y,2,min} = (B_D - e_{y,1} - t_{KBI}) / (n_y - 1) = 150\text{mm}$$

$$n_x = 7$$

$$n_y = 5$$

▪ Geometrie Stirnplatte [2]

$$h = (n_x - 1) \cdot e_{x,1} + 2 \cdot e_R = 1020\text{mm}$$

$$b = (n_y - 1) \cdot e_{y,2} + 2 \cdot e_{y,1} + 2 \cdot e_R = 1040\text{mm}$$

$$t_{Blech} = 40\text{mm}$$

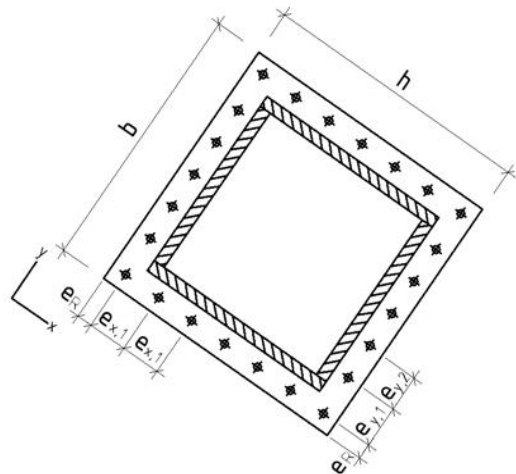
▪ Grenzwerte der Schrauben

$$N_{R,d} = 334\text{kN}$$

▪ Nachweis der Schrauben

$$n = (n_x + n_y) \cdot 2 = 24$$

$$\frac{N_d}{n \cdot N_{R,d}} \rightarrow \text{konstruktiv, ohne Nachweis}$$



Nachweis der Stirnplatte [2]

konstruktiv $t = 40\text{mm}$ gewählt, ohne weiteren Nachweis, da nur Druckkräfte wirken und diese auf das Knotenblech und die Steifen durchgeleitet werden.

▪ Schweißnähte a_1

$$a_8 = 12\text{mm}$$

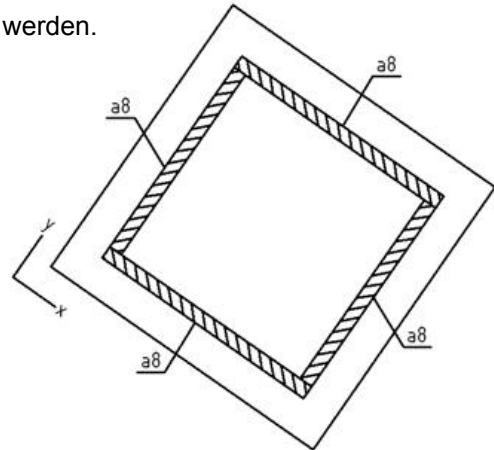
$$a_{\min} = 7,6\text{mm}$$

$$l_8 = (H_D + B_D) \cdot 2 = 3200\text{mm}$$

$$a_{\max} = 28,0\text{mm}$$

$$N_{a8,d} = N_d \cdot 0,15 = 6235,5\text{kN}$$

$$\sigma_{a8,w,d} = \frac{N_{a8,d}}{l_{8,ges} \cdot a_8} = 16,24 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\sigma_{a8,w,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,62 < 1,0$$

**Anschlusspunkt zur Stütze**

▪ Stegblech [6]

$$b_6 = 720\text{mm}$$

$$l_6 = 1040\text{mm}$$

$$t_6 = 30\text{mm}$$

$$N_{6,d} = N_{3,d} = 4387\text{kN}$$

▪ maßgebende Spannung an Stelle 1

$$\sigma_{6,d} = 20,31 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_{6,d} = 0,60 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{V,6,d} = 20,33 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\sigma_{V,6,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,62 < 1,0$$

▪ Schweißnaht Stegblech

→ konstruktiv Kehlnaht $a_6 = 6\text{mm}$, entspricht der Mindestschweißnahtdicke

$$a_7 = 12\text{mm}$$

$$l_7 = 720\text{mm}$$

$$a_{\min} = 7,2\text{mm}$$

$$a_{\max} = 21,0\text{mm}$$

$$N_{6,d} = N_{3,d} = 4387\text{kN}$$

$$\sigma_{7,w,d} = 25,38 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_{7,w,d} = 0,75 \text{ kN/cm}^2 \quad \sigma_{7,w,V,d} = 25,39 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\sigma_{7,w,V,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,97 < 1,0$$

Steifen Diagonalenanschluss

▪ Steifen Diagonalen [9]

$$b_9 = 720\text{mm} \quad \dots \text{ Breite}$$

$$l_9 = 500\text{mm} \quad \dots \text{ Länge}$$

$$l_{10} = 1000\text{mm} \quad \dots \text{ Länge}$$

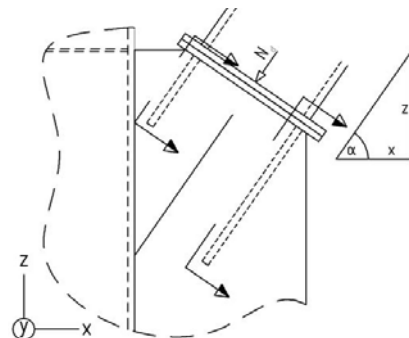
$$t_{9/10} = 50\text{mm} \quad \dots \text{ Materialstärke}$$

▪ Bemessungsschnittgrößen

$$N_{9/10,d} = \frac{N_d}{4} = 10392\text{kN}$$

▪ Spannung Stelle 1

$$\sigma_{9/10,d} = \frac{N_{9/10,d}}{b_{9/10} \cdot t_{9/10}} = 28,86 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\sigma_{9/10,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,98 < 1,0$$

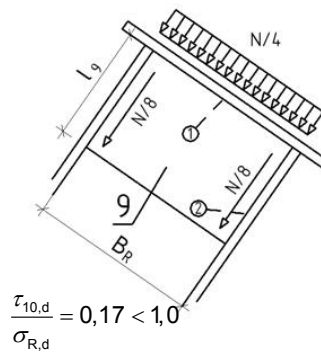


Spannung Stelle 2

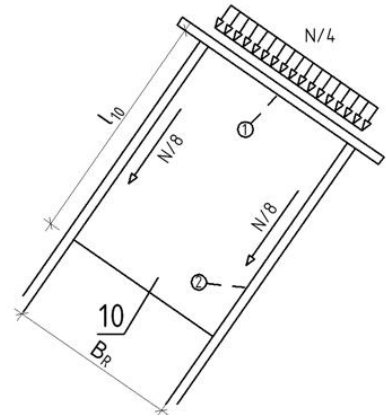
$$\tau_9 = \frac{N_d}{l_9 \cdot t} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{10} = \frac{N_d}{l_{10} \cdot t} = 10,39 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau_{9,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,34 < 1,0$$



$$\frac{\tau_{10,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,17 < 1,0$$



Schweißnaht Stegblech

$$N_{9/10,d} = \frac{N_d}{4} = 10392 \text{ kN}$$

$$a_{\min} = 6,6 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 28,0 \text{ mm}$$

$$a_9 = 12 \text{ mm}$$

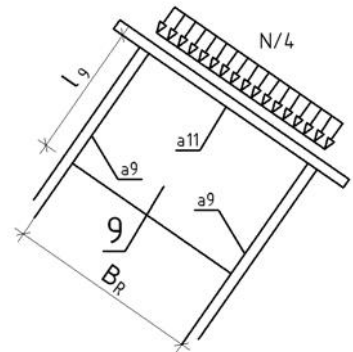
$$l_9 = 500 \text{ mm}$$

$$\tau_{a9,w,d} = \frac{N_{9,d}}{2 \cdot a_9 \cdot l_9} = 25,98 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau_{a9,w,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,99 < 1,0$$

$$a_{10} = 12 \text{ mm}$$

$$l_{10} = 1000 \text{ mm}$$



$$\tau_{a10,w,d} = \frac{N_{10,d}}{2 \cdot a_{10} \cdot l_{10}} = 25,98 \text{ kN/cm}^2$$

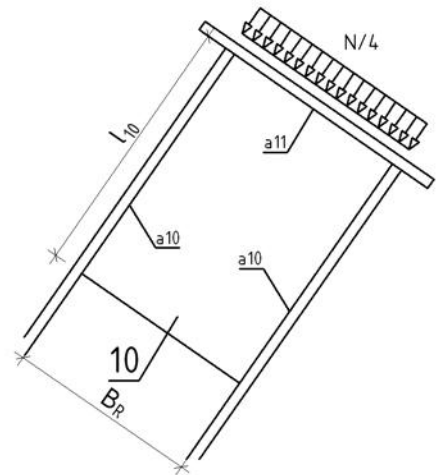
$$\frac{\tau_{a10,w,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,99 < 1,0$$

$$a_{11} = 12 \text{ mm}$$

$$l_{11} = 1000 \text{ mm}$$

$$\sigma_{a11,w,d} = \frac{0,15 \cdot N_d}{2 \cdot a_{11} \cdot b} = 13,53 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{a11,w,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,52 < 1,0$$



Schnitt 1-1

$$H_{1-1} = 3200 \text{ mm}$$

$$h_o = 2027 \text{ mm}$$

$$I_y = 30557495 \text{ cm}^4$$

$$B_R = 800 \text{ mm}$$

$$h_u = 1173 \text{ mm}$$

$$I_z = 3793365 \text{ cm}^4$$

$$t_6 = 30 \text{ mm}$$

$$A_{1-1 \text{ Gesamt}} = 2776 \text{ cm}^2$$

$$W_z = 67445 \text{ cm}^3$$

$$s_{KBI} = 40 \text{ mm}$$

$$A_{1-1 \text{ Steg}} = 1280 \text{ cm}^2$$

▪ Schnittkräfte an Stelle A

$$\begin{aligned} N_{d,Zug} &= 2450 \text{ kN} \\ N_{d,Druck} &= 2160 \text{ kN} \\ V_{z,d} &= 33000 \text{ kN} \\ V_{y,d} &= 150 \text{ kN} \\ M_{y,d} &= 19510 \text{ kNm} \\ M_{z,d} &= 530 \text{ kNm} \\ M_{T,d} &= 1530 \text{ kNm} \rightarrow V_{T,z,d} = 2013 \text{ kN} \end{aligned}$$

▪ Schnittkräfte an Stelle B

$$\begin{aligned} N_{d,Zug} &= 22260 \text{ kN} \\ N_{d,Druck} &= 0 \text{ kN} \\ V_{z,d} &= 1540 \text{ kN} \\ V_{y,d} &= 130 \text{ kN} \\ M_{y,d} &= 0 \text{ kNm} \\ M_{z,d} &= 1270 \text{ kNm} \\ M_{T,d} &= 590 \text{ kNm} \rightarrow V_{T,z,d} = 776 \text{ kN} \end{aligned}$$

▪ Schnittkräfte an Stelle C (Diagonale)

$$\begin{aligned} N_{d,Zug} &= 0 \text{ kN} \\ N_{d,Druck} &= 41570 \text{ kN} \\ F_{x,d} &= \cos \alpha \cdot N_d = 23724 \text{ kN} \\ F_{z,d} &= \sin \alpha \cdot N_d = 34135 \text{ kN} \\ M_d &= \left(\left((h_o + h_u) / 2 - (h_u + H_R / 2) \right) \cdot F_x \right) - \left((h_o + h_u) / 2 - h_u \right) \cdot N_d + V_{z,d} \cdot A = 16066 \text{ kNm} \end{aligned}$$

▪ maßgebend Spannung an Stelle 2 (Schnittkräfte Stelle A)

$$\begin{aligned} \sigma_{2,d} &= \frac{N_d}{A_{\text{Gesamt}}} + \frac{M_{z,d}}{W_z} + \frac{M_{y,d}}{I_y} \cdot \left(\frac{H_{1-1}}{2} - h_u \right) = 5,49 \text{ kN/cm}^2 \\ \tau_{2,d} &= \frac{(V_{y,d} \cdot (B_R - s_R) \cdot H_{1-1}) / 4}{I_z} + \frac{V_{z,d}}{H_{1-1} \cdot s_R \cdot 2} + \frac{1,5 \cdot V_{T,d}}{H_{1-1} \cdot s_R} = 15,46 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{V,2,d} &= \sqrt{\sigma_{2,d}^2 + 3 \cdot \tau_{2,d}^2} = 27,33 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\sigma_{V,2,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,83 < 1,0 \end{aligned}$$

▪ Spannung Knotenblech

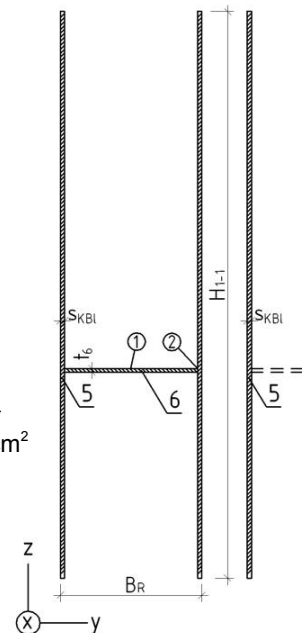
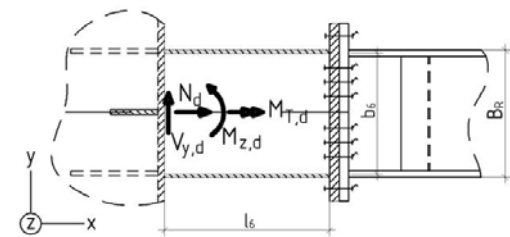
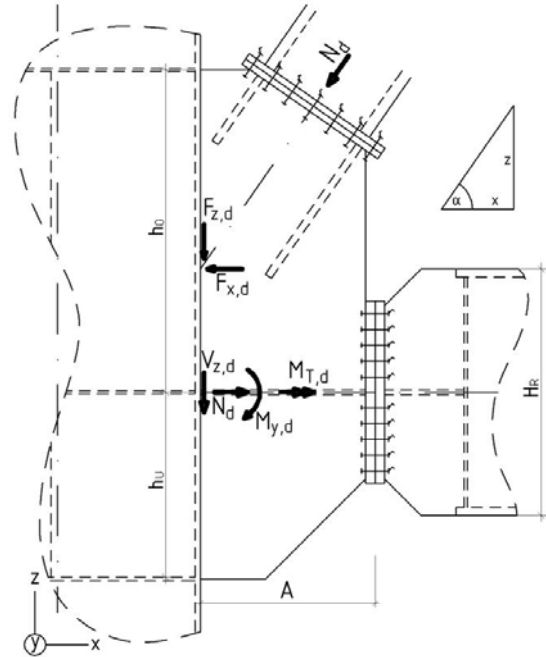
$$\begin{aligned} \sigma_{KBl,d} &= \left(\left(N_d - \frac{A_{\text{Steg}}}{A_{\text{Gesamt}}} \cdot F_{x,d} \right) + \frac{M_{z,d}}{B_R - t_{KBl}} \right) / (H_{1-1} \cdot t_{KBl}) + \frac{M_d \cdot 6}{2 \cdot H_{1-1}^2 \cdot t_{KBl}} = 17,49 \text{ kN/cm}^2 \\ \tau_{KBl,d} &= \frac{F_{z,d} / 2 + V_{z,d} / 2 + V_{T,d}}{H_{1-1} \cdot t_{KBl}} = 14,54 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{V,KBl,d} &= \sqrt{\sigma_{KBl,d}^2 + 3 \cdot \tau_{KBl,d}^2} = 30,67 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\sigma_{V,KBl,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,94 < 1,0 \end{aligned}$$

▪ Schweißnähte a₅

$$a_5 = 12 \text{ mm} \quad l_5 = H_{1-1} = 3200 \text{ mm} \quad a_{\min} = 5,8 \text{ mm} \quad a_{\max} = 23,8 \text{ mm}$$

▪ Schnittkräfte

$$\begin{aligned} N_{d,Zug} &= 2450 \text{ kN} & V_{z,d} &= 33000 \text{ kN} & M_{y,d} &= 19510 \text{ kNm} \\ N_{d,Druck} &= 2160 \text{ kN} & V_{y,d} &= 150 \text{ kN} & M_{z,d} &= 1530 \text{ kNm} \\ & & & & M_{T,d} &= 590 \text{ kNm} \rightarrow V_{T,z,d} = 776 \text{ kN} \end{aligned}$$



$$N_{5,d} = N_d \cdot \frac{A_{\text{Steg}}}{A_{\text{Gesamt}}} = 675 \text{ kN}$$

$$\sigma_{a5} = \frac{N_{a5,d}}{2 \cdot I_5 \cdot a_5} + \frac{M_{z,d}}{2 \cdot I_5 \cdot a_5 (B_R - t_{\text{KBI}})} + \frac{M_d \cdot 6}{2 \cdot H_{1-1}^2 \cdot t_{\text{KBI}}} = 3,53 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{a5} = \frac{V_{z,d}/2 + V_{T,d}}{2 \cdot I_5 \cdot a_5} = 22,39 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{a5,w,V,d} = \sqrt{\sigma_{a5}^2 + \tau_{a5}^2} = 22,67 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{a5,w,V,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,87 < 1,0$$

▪ Schweißnähte a_7

→ konstruktiv Kehlnaht $a_7 = 6 \text{ mm}$ ($l_7 = 720 \text{ mm}$) ohne weiteren Nachweis,
entspricht der Mindestschweißnahtdicke

Verstärkung Stützenwand [11]

Hier werden keine Bleche zur Verstärkung der Stützenwände erforderlich.

▪ Schweißnahtverbindung der Stützenwände

$$T = \frac{V_{y,d}}{B_s} + \frac{V_{z,d}/2 + V_{T,d}}{H_{1-1}} = 58,45 \text{ kN/cm}$$

$$\tau_d = \frac{T}{t_s} = \frac{58,45 \text{ kN/cm}}{3,4 \text{ cm}} = 17,19 \text{ kN/cm}^2 < \tau_{R,d} = 18,89 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{w,d} = \frac{T}{\Delta a} = \frac{58,45 \text{ kN/cm}}{2,5 \text{ cm}} = 23,38 \text{ kN/cm}^2 < \tau_{w,R,d} = 26,18 \text{ kN/cm}^2$$

Für den Querschnittabschnitt S4 wurde in Kapitel 4 bzw. der dazugehörigen Statik (Seite VII-2) in der Anlage eine Schweißnahtstärke des Stützenquerschnittes von $a_{\text{erf}} = 3,6 \text{ mm}$ ermittelt.

Aufgrund des kompakten Anschlusses und der großen Querkkräfte, sind die Schweißnähte in diesem Bereich als $a = a_{\text{erf}} + \Delta a = 28,6 \text{ cm} \approx 30 \text{ mm}$ auszuführen.

Steife Stütze

▪ Abmessungen Steife [14]

$$B_R = 800 \text{ mm}$$

$$A_{1-1 \text{ Gesamt}} = 2704 \text{ cm}^2$$

$$H_{1-1} = 3200 \text{ mm}$$

$$A_{1-1 \text{ Steg}} = 1280 \text{ cm}^2$$

$$h_{14,\text{ges}} = 3180 \text{ mm}$$

$$h_{14} = h_{14,\text{ges}} - 2 \cdot c = 3080 \text{ mm}$$

$$b_{14,\text{ges}} = 850 \text{ mm}$$

$$b_{14} = 800 \text{ mm}$$

$$t_{14} = 50 \text{ mm}$$

$$c = 50 \text{ mm}$$

$$a = B_R - t_{14} = 760 \text{ mm}$$

▪ Schnittkräfte

$$N_{d,\text{Zug}} = 2450 \text{ kN}$$

$$N_{d,\text{Druck}} = 2160 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 19510 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = 1530 \text{ kNm}$$

$$N_{14,d} = N_d \cdot \frac{A_{\text{Steg}}}{A_{\text{Gesamt}}} = 1160 \text{ kN}$$

$$q_x = \frac{N_{14,d}}{h_{14}} + \frac{M_{z,d}}{2 \cdot a} = 680 \text{ kN/m}$$

$$V_x = \frac{N_{14,d}}{2} + \frac{M_{y,d}}{h_{\text{ges}}} = 6705 \text{ kN/m}$$

▪ Spannungen Stelle 1

$$\sigma_{1,d} = \frac{N_{14,d}}{h_{14} \cdot t_{14}} + \frac{M_{y,d}}{h_{14}^2 \cdot t_{14}} = 13,05 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{1,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,44 < 1,0$$

▪ Spannung Stelle 2

$$\tau_{2,d} = \frac{\frac{N_{14,d}}{2} + \frac{M_{y,d}}{h_{14,ges}}}{b_{14} \cdot t_{14}} = 16,76 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau_{2,d}}{\tau_{R,d}} = 0,98 < 1,0$$

▪ Spannung Stelle 3

$$\sigma_{3,d} = \frac{q_x \cdot h_{14}^2 \cdot 6}{8 \cdot b_{14}^2 \cdot t_{14}} = 15,11 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{3,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,46 < 1,0$$

▪ Schweißnähte a₁₄

$$a_{14} = 14 \text{ mm}$$

$$l_{14} = h_{14} = 3080 \text{ mm}$$

$$a_{\min} = 6,6 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 28,0 \text{ mm}$$

$$\sigma_{a14,w,d} = \frac{N_{14,d}}{2 \cdot h_{14} \cdot a_{14}} + \frac{M_{y,d}}{h_{14}^2 \cdot 2 \cdot a_{14}} = 23,31 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{a14,w,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,89 < 1,0$$

▪ Schweißnähte a₁₅

$$a_{15} = 10 \text{ mm}$$

$$l_{15} = b_{15} = 800 \text{ mm}$$

$$a_{\min} = 6,6 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 14,0 \text{ mm}$$

$$\tau_{a15,w,d} = \frac{\frac{N_{14,d}}{2} + \frac{M_{y,d}}{h_{15,ges}}}{2 \cdot b_{15} \cdot a_{15}} = 22,77 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau_{a15,w,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,87 < 1,0$$

Schottblech

▪ Abmessungen Schottblech

$$L_S = 2432 \text{ mm}$$

$$B_S = 1720 \text{ mm}$$

$$B_R = 800 \text{ mm}$$

$$t_s = 40 \text{ mm}$$

$$b_x = 800 \text{ mm}$$

$$b_y = 800 \text{ mm}$$

$$h_o + h_u = 3200 \text{ mm}$$

▪ Schnittkräfte an Stelle A

R18/R25

$$N_{x,d,Zug} = 2450 \text{ kN}$$

$$N_{x,d,Druck} = 2160 \text{ kN}$$

$$V_{y,y,d} = 150 \text{ kN}$$

$$M_{x,y,d} = 19510 \text{ kNm}$$

$$M_{x,z,d} = 1530 \text{ kNm}$$

▪ Schubkräfte

$$T_x = \frac{N_x}{2} + \frac{M_{x,z,d}}{B_R} + \frac{M_{x,y,d}}{(h_o + h_u)} = 9234 \text{ kN}$$

$$T_y = V_y = 150 \text{ kN}$$

▪ Schnitt s

$$s = 1132 \text{ mm}$$

$$\alpha = 54^\circ$$

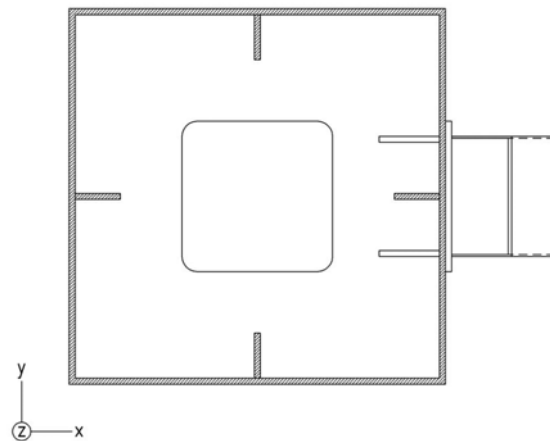
$$\sin \alpha = 0,809$$

$$\cos \alpha = 0,587$$

▪ Bemessung

$$N_{sx,d} = \left(\frac{N_x}{2} + \frac{M_{x,z,d}}{B_R} + \frac{M_{x,y,d}}{h_o} \right) \cdot \sin \alpha + \frac{T_y}{2} \cdot \cos \alpha = 7514 \text{ kN}$$

$$T_{sx,d} = \left(\frac{N_x}{2} + \frac{M_{x,z,d}}{B_R} + \frac{M_{x,y,d}}{h_o} \right) \cdot \cos \alpha + \frac{T_y}{2} \cdot \sin \alpha = 5481 \text{ kN}$$



▪ Spannungen S1

$$\sigma_{S,d} = 16,59 \text{ kN/cm}^2 \quad \tau_{S,d} = 12,10 \text{ kN/cm}^2 \quad \sigma_{V,S,d} = 26,73 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\sigma_{V,S,d}}{\sigma_{R,d}} = 0,75 < 1,0$$

▪ Spannungen an Stelle a17

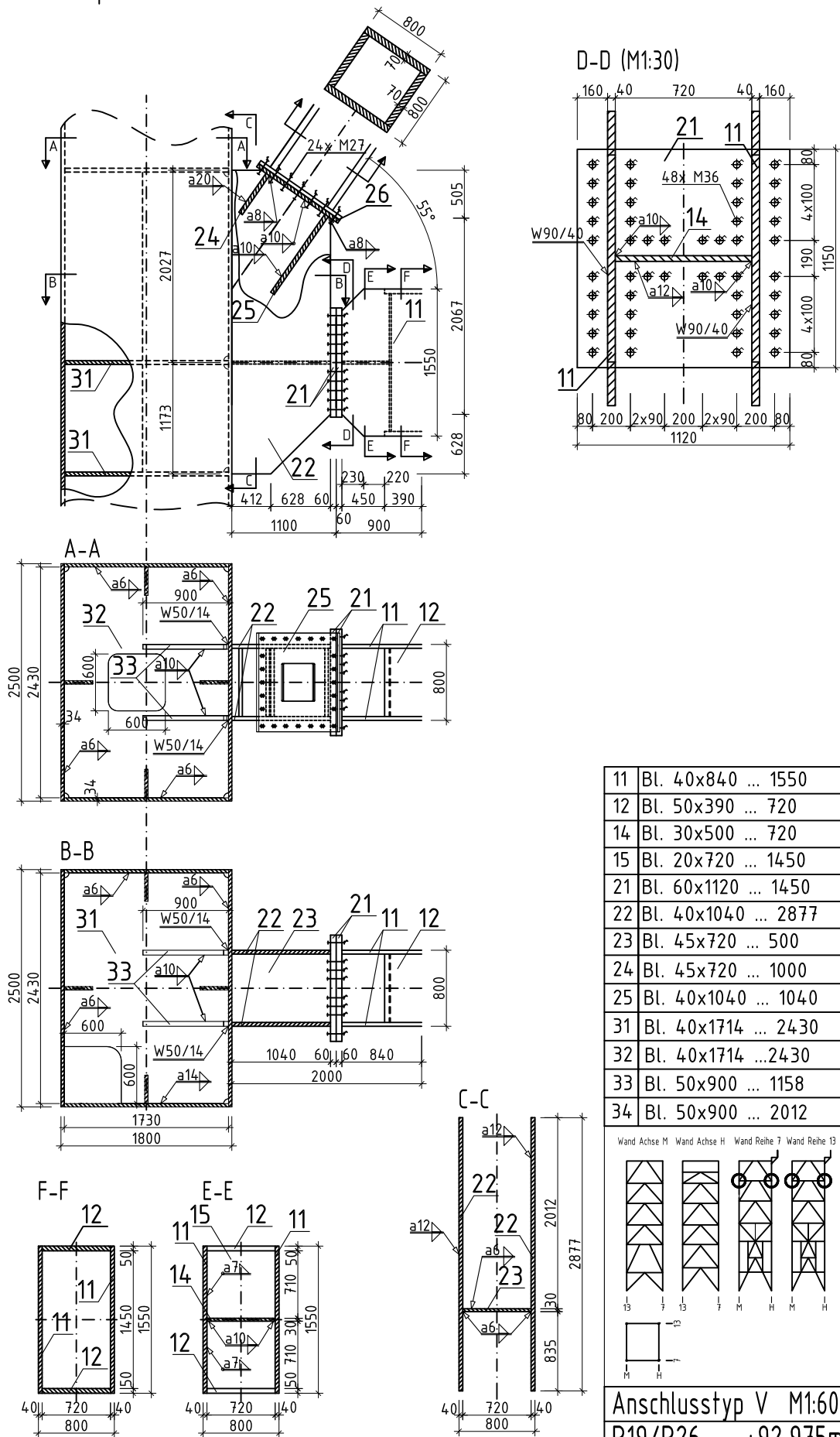
$$\tau_{S,d} = \frac{T_x}{t_{SBl} \cdot B_S} = 13,42 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\tau_{SX,d}}{\tau_{R,d}} = 0,71 < 1,0$$

▪ Schweißnähte

$$a_{17} = a_{19} = 12 \text{ mm} \quad l_{17} = l_{19} = 1720 \text{ mm} \quad a_{\min} = 5,8 \text{ mm} \quad a_{\max} = 24,5 \text{ mm}$$

$$\tau_{a17,w,d} = \frac{T_x}{2 \cdot l_{17} \cdot a_{17}} = 22,36 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\tau_{a17,w,d}}{\sigma_{w,R,d}} = 0,85 < 1,0$$

→ alle Schweißnähte werden aufgrund der geringen Auslastung mit der Mindestnahtdicke ausgeführt.



Anlage E

Dokumentation zur Ermittlung des Fertigungsaufwands

Inhalt	Seite
Anschluss Typ I	E-1 ... 3
Anschluss Typ II	E-4 ... 6
Anschluss Typ III	E-7 ... 9
Anschluss Typ IV	E-10 ... 12
Anschluss Typ V	E-13 ... 17

MPP-B																		8				6				4												
10		2	2000	1970	40	618,58	1237,2	2,474	MAG-V	a10	2	1,25	5,00	36	1	180	3,00				5	6	0,50	7,94	15,88													
11	Riegel Steg	2	1250	740	34	197,51	246,9	0,494																														
12	Riegel Flansch	2	1250	740	34	197,51	246,9	0,494																														
14	Stegblech	1	740	800	20	125,60	92,9	0,093	MAG-Hand	a5	4	0,8	3,20	11	1	35	0,59							3,98	7,96													
15	Schottblech	1	740	1932	12	181,99	134,7	0,135	MAG-Hand	a6	4	1,7	6,80	16	1	109	1,81																					
20																																						
21	Stirnplatte	1	1040	600	40	188,40	195,9	0,196	MAG-Hand	a12	4	0,56	2,24	46	1	103	1,72	K	2,24	8	71,7	1,19	2,24	6	0,22	3,28	3,28	32	4	128	2,13							
30																																						
31	Schottblech	1	2434	2434	20	382,14	930,1	0,930	MAG-Hand	a6	2	2,34	4,68	16	1	75	1,25								9,74	9,74												
									MAG-Hand	a6	2	2,34	4,68	16	1	75	1,25																					
									MAG-Hand	a6	2	2,34	4,68	16	1	75	1,25																					
									MAG-Hand	a6	2	2,34	4,68	16	1	75	1,25																					
									MAG-Hand	a6	2	2,34	4,68	16	1	75	1,25																					
32	Steife	4	600	270	30	63,59	38,2	0,153	MAG-Hand	a14	2	0,22	1,76	59	1	104	1,73						1,76	6	0,18	1,74	6,96											
									MAG-Hand	a6	2	0,55	4,40	16	1	70	1,17						4,4	6	0,44													
33	Verstärkungsbleche	2	280	600	40	188,40	52,8	0,106	MAG-Hand	a8	2	0,88	3,52	25	1	88	1,47						3,52	6	0,35	1,76	3,52	12	2	48	0,80							
		4,580																	16,48				1,19				1,69				47,34				2,93			

Anschlussstyp I

R16 / R23

Pos	Kurztext	Stck	L	B	t	Gewicht		Zusammenbau/Anbau						Transporte						
			mm	mm	mm	kg/m	kg/Stck	to	Stck	L (m/Stck)	L (m)	min/m	min/Stck	min	Std	Stck	g<20	g<100	g>100	g>500
10	MPP-A																			
11	Riegel Steg	2	1932	1937	18	273,70	528,78	1,06	2	1,932	3,864		30	60	1,00	2	0	0	0	2
12	Riegel Flansch oben	1	800	1960	34	523,12	418,50	0,42	1	0,8	0,8		40	40	0,67	1	0	0	1	0
13	Riegel Flansch unter	1	1460	1460	34	389,67	568,92	0,57	1	1,46	1,46		40	40	0,67	1	0	0	0	1
15	Schottblech	1	764	1932	15	227,49	173,80	0,17	1	0,764	0,764		30	30	0,50	1	0	0	1	0
20																				
21	Stirplatte	1	1520	2240	40	703,36	1.069,11	1,07	1	1,52	1,52		180	180	3,00	1	0	0	0	1
30																				
31	Schottblech	1	2430	2430	40	763,02	1.854,14	1,85	1	2,43	2,43		180	180	3,00	1	0	0	0	1
32	Schottblech	1	2430	2430	60	1.144,53	2.781,21	2,78	1	2,43	2,43		180	180	3,00	1	0	0	0	1
33	Stirplatte	1	1040	280	40	87,92	91,44	0,09	1	1,04	1,04		30	30	0,50	1	0	1	0	0
34	Stirplatte	1	1520	280	40	87,92	133,64	0,13	1	1,52	1,52		30	30	0,50	1	0	0	1	0
Summen									8,15						12,83	10	0	1	3	6

10	MPP-B																			
11	Riegel Steg	2	2000	1970	40	618,58	1.237,16	2,47	2	2	4		30	60	1,00	2	0	0	0	2
12	Riegel Flansch	2	1250	740	34	197,51	246,88	0,49	2	1,25	2,5		40	80	1,33	2	0	0	2	0
14	Stegblech	1	740	800	15	125,60	92,94	0,09	1	0,74	0,74		40	40	0,67	1	0	1	0	0
15	Schottblech	1	740	1932	12	181,99	134,68	0,13	1	0,74	0,74		30	30	0,50	1	0	0	1	0
20																				
21	Stirplatte	1	1040	600	30	188,40	195,94	0,20	1	1,04	1,04		150	150	2,50	1	0	0	1	0
30																				
31	Schottblech	1	2434	2434	20	382,14	930,12	0,93	1	2,434	2,434		180	180	3,00	1	0	0	0	1
32	Steife	4	600	270	30	63,59	38,15	0,15	4	0,6	2,4		20	80	1,33	4	0	4	0	0
33	Verstärkungsbleche	2	280	600	40	188,40	52,75	0,11	2	0,28	0,56		40	80	1,33	2	0	2	0	0
Summen									4,58						10,67	14	0	7	4	3

Nr	Bezeichnung der Teilkosten	Gewicht to	Stck	Längen m/St	m	Spez. Fertigung min/St	Faktor %	Fertigungszeiten	
								Std	Std/lo
MPP-A	Einzelteillfertigung gesondert (ohne Bohren, Fräsen)								
1	Nahtvorbereitung (6 min/m Schweißkanten mit Brenner)							4,03	0,49
2	Zusammenbau/Anbau aller Teile (lt Zusammenstellung)							12,83	1,57
3	Vorwärmen (2 min / m wg. vieler Doppelnähte ; Normalwert 3 min/m)							3,74	0,46
4	Schweißen								
4.1	Verputzen / Beschleifen der Brennkanten (0,5 min/m)				65,43			0,55	0,07
4.2	Schweißzeit lt. Tabelle (Mag- Hand + UP , w- Position)							49,48	6,07
4.3	Abschlag von 20% Vorgabe für die Fertigung (Akkordlohn)						-20%	-9,90	-1,21
4.4	Zuschlag für Kurznähte +s - Position + erschwerte Zugänglichkeit: 40 % für 30% der Nähte						12%	5,94	0,73
5	Bohren (wenn möglich , im Paket bohren)	8,15						5,20	0,64
6	Fräsen (Schnupfräser d=63mm + Messerkopf d=150mm)								
6.2	Stirnflächen von Pos 501+502 $A = 2 \times (3,05 \times 1,04-0,8 \times 0,5) = 5,44 \text{ m}^2$; $v= 3,5\text{min/(}0,14 \times 0,1)$		1		6,124			25,5	3,13
7	Transporte								
7.1	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , $g < 20 \text{ kg/St}$		0			1		0,00	0,00
7.2	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , $g = 20-100 \text{ kg/St}$		1			4		0,07	0,01
7.3	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , $g = 100-500 \text{ kg/Stck}$		3			10		0,50	0,06
7.4	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , $g > 500 \text{ kg/Stck}$		6			12		1,20	0,15
Gesamtsumme Fertigungszeit/-kosten MPP-A								99,15	12,17

MPP-B									
1	Einzelteillfertigung gesondert (ohne Bohren, Fräsen)								
1	Nahtvorbereitung (6 min/m Schweißkanten mit Brenner)							1,19	0,26
2	Zusammenbau/Anbau aller Teile (lt Zusammenstellung)							10,67	2,33
3	Vorwärmen (2 min / m wg. vieler Doppelnähte ; Normalwert 3 min/m)							1,69	0,37
4	Schweißen								
4.1	Verputzen / Beschleifen der Brennkanten (0,5 min/m)				47,34			0,39	0,09
4.2	Schweißzeit lt. Tabelle (Mag- Hand + UP , w- Position)							16,48	3,60
4.3	Abschlag von 20% Vorgabe für die Fertigung (Akkordlohn)						-20%	-3,30	-0,72
4.4	Zuschlag für Kurznähte +s - Position + erschwerte Zugänglichkeit: 40 % für 30% der Nähte						12%	1,98	0,43
5	Bohren (wenn möglich , im Paket bohren)	4,58						2,93	0,64
6	Fräsen (Schruppfräser d=63mm + Messerkopf d=150mm)								
6.2	Stirnflächen von Pos 501+502 A = 2 x (3,05 x 1,04-0,8 x 0,5) = 5,44 m² ; v= 3,5min/(0,14*0,1)		1		1,9			7,9	1,73
7	Transporte								
7.1	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g< 20 kg/St		0			1		0,00	0,00
7.2	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g = 20-100 kg/St		7			4		0,47	0,10
7.3	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g = 100-500 kg/St		4			10		0,67	0,15
7.4	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g > 500 kg/St		3			12		0,60	0,13
Gesamtsumme Fertigungszeit/-kosten MPP-B								41,69	9,10

Schottbelche nur 50%, da auch für anderen Riegelanschluss erforderlich

Anschlussstyp II

R3 / R9

Pos	Kurztext	Stck	L		B	t	Gewicht			Zusammenbau/Anbau							Transporte										
			mm	mm	mm	kg/m	kg/Stck	to	Stck	L (m/Stck)	L (m)	min/m	min/Stck	min	Std	Stck	g<20	g<100	g>100	g>500							
10																											
11	Riegel Steg	2	1200	1084	10	85,09	102,11	0,20	2	1,2	2,4		30	60	1,00	2	0	0	2	0							
12	Riegel Flansch	2	794	1965	15	231,38	183,71	0,37	2	0,794	1,588		55	110	1,83	2	0	0	2	0							
13	Riegel Steg	2	885	2185	25	428,81	379,49	0,76	2	0,885	1,77		80	160	2,67	2	0	0	2	0							
14	Riegel Flansch	2	780	1965	18	277,65	216,57	0,43	2	0,78	1,56		50	100	1,67	2	0	0	2	0							
15	Schottblech	1	780	1164	12	109,65	85,53	0,09	1	0,78	0,78		30	30	0,50	1	0	1	0	0							
20																											
21	Stirnplatte	1	1040	2335	34	623,21	648,14	0,65	1	1,04	1,04		180	180	3,00	1	0	0	0	1							
22	Blech	1	750	360	12	33,91	25,43	0,03	1	0,75	0,75		30	30	0,50	1	0	1	0	0							
23	Blech	1	750	600	12	56,52	42,39	0,04	1	0,75	0,75		30	30	0,50	1	0	1	0	0							
30																											
31	Schottblech	2	2434	2434	20	382,14	930,12	1,86	2	2,434	4,868		90	180	3,00	2	0	0	0	2							
								0,93							1,50		0	0	0	1							
32	Stirnplatte	2	1040	270	40	84,78	88,17	0,18	2	1,04	2,08		40	80	1,33	2	0	2	0	0							
Summen										3,67												14,50	16	0	5	8	4

10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Nr	Bezeichnung der Teilkosten	Gewicht to	Längen		Spez. Fertigung min/St	Faktor %	Fertigungszeiten	
			m/St	m			Std	Std/fo
MPP-A Einzelteilerfertigung gesondert(ohne Bohren, Fräsen)								
1	Nahtvorbereitung (6 min/m Schweißkanten mit Brenner)						1,47	0,40
2	Zusammenbau/Anbau aller Teile (lt Zusammenstellung)						14,50	3,95
3	Vorwärmen (2 min / m wg. vieler Doppelnähte ; Normalwert 3 min/m)						1,54	0,42
4	Schweißen							
4.1	Verputzen / Beschleifen der Brennkanten(0,5 min/m)			73,97			0,62	0,17
4.2	Schweißzeit lt. Tabelle(Mag- Hand + UP , w. Position)					-20%	20,43	5,57
4.3	Abschlag von 20% Vorgabe für die Fertigung(Akkordlohn)					12%	-4,09	-1,11
4.4	Zuschlag für Kurznähte +s - Position + erschwerte Zugänglichkeit: 40 % für 30% der Nähte						2,45	0,67
5	Bohren (werden anteilig einbezogen, da immer im Paket mit Diagonale oder Stütze gebohrt wird)	3,67					7,73	2,11
6	Fräsen (Schnupfräser d=63mm + Messerkopf d=150mm)							
6.2	Stirnflächen von Pos 501+502 $A = 2 \times (3,05 \times 1,04 - 0,8 \times 0,5) = 5,44 \text{ m}^2$; $v = 3,5 \text{ min/(} 0,14^{\circ} 0,1)$	1		7,98			33,3	9,06
7	Transporte							
7.1	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g< 20 kg/St	0			1		0,00	0,00
7.2	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g = 20-100 kg/St	5			4		0,33	0,09
7.3	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g = 100-500 kg/St	8			10		1,33	0,36
7.4	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g > 500 kg/St	4			12		0,80	0,22
Gesamtsumme Fertigungszeit/-kosten MPP-A							80,37	21,90

MPP-B Einzelteilerfertigung gesondert(ohne Bohren, Fräsen)								
1	Nahtvorbereitung (6 min/m Schweißkanten mit Brenner)						1,78	0,48
2	Zusammenbau/Anbau aller Teile (lt Zusammenstellung)						12,58	3,40
3	Vorwärmen (2 min / m wg. vieler Doppelnähte ; Normalwert 3 min/m)						2,54	0,69
4	Schweißen							
4.1	Verputzen / Beschleifen der Brennkanten (0,5 min/m)			54,20			0,45	0,12
4.2	Schweißzeit lt. Tabelle(Mag- Hand + UP , w- Position)					-20%	25,48	6,89
4.3	Abschlag von 20% Vorgabe für die Fertigung(Akkordlohn)					12%	-5,10	-1,38
4.4	Zuschlag für Kurznähte +s -Position + erschwerte Zugänglichkeit: 40 % für 30% der Nähte						3,06	0,83
5	Bohren (werden anteilig einbezogen, da immer im Paket mit Diagonale oder Stütze gebohrt wird)	3,70					9,00	2,43
6	Fräsen (Schrupfräser d=63mm + Messerkopf d=150mm)							
6.2	Stirnflächen von Pos 501+502 $A = 2 \times (3,05 \times 1,04 - 0,8 \times 0,5) = 5,44 \text{ m}^2$; $v = 3,5 \text{ min/(} 0,14^{\circ} 0,1)$	1		3,23			13,5	3,64
7	Transporte							
7.1	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g < 20 kg/St	2			1		0,03	0,01
7.2	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g = 20-100 kg/St	9			4		0,60	0,16
7.3	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g = 100-500 kg/St	3			10		0,50	0,14
7.4	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g > 500 kg/St	3			12		0,50	0,14
Gesamtsumme Fertigungszeit/-kosten MPP-B							64,89	17,55

Anschlussstyp III R17 / R24

Pos	Kurztext	Stck	L	B	t	Gewicht			Schweißzeiten									Nahtvorbereitung					Vorwärmen			Umfang		Bohren					
			mm	mm	mm	kg/m	kg/Stck	to	Naht	Typ	Stck/Pos	L (m/Stck)	L (m)	min/m	Faktor	min	Std	Form	m	min/m	min	Std	m	min/m	Std	m/stck	m	Stck/Pos	min/Stck	min	Std		
10	vorh. Anschluss																																
11	Riegel Steg	2	1200	1062	10	83,37	100,0	0,200	MAG-V	a5	2	0,86	3,44	11	1	38	0,63			8				6			4,52	9,05				4	
12	Riegel Flansch	2	780	680	15	80,07	62,5	0,125																		2,92	5,84						
13	Riegel Steg	2	900	3300	55	1.424,78	1282,3	2,565	MAG-Hand	HV12	2	1,2	4,80	57	1	274	4,56								4,8	6	0,00	8,40	16,80	28	4	224	3,73
14	Riegel Flansch	2	690	1100	40	345,40	238,3	0,477	MAG-Hand	K40	1	0,69	1,38	210	1	290	4,83	K	1,38	8	11,0	0,18	1,38	6	0,14	3,58	7,16						
									MAG-Hand	a4	2	0,9	3,60	9	1	32	0,54							3,6	6	0,36							
									MAG-Hand	HV12	2	0,17	0,68	57	1	39	0,65	HV	0,68	8	10,9	0,18	0,68	6	0,07								
									MAG-Hand	HV12	2	0,9	3,60	57	1	205	3,42	HV	3,6	8	57,6	0,96	3,6	6	0,36								
									MAG-Hand	HV16	2	0,8	3,20	78	1	250	4,16	HV	3,2	8	51,2	0,85	3,2	6	0,32								
15	Schottblech	1	690	1120	12	105,50	72,8	0,073	MAG-Hand	a4	2	1,89	3,78	9	1	34	0,57									3,62	3,62						
20																																	
21	Stirnplatte	1	1040	3350	38	999,31	1039,3	1,039	MAG-Hand	a10	4	3,35	13,40	36	1	482	8,04								13,4	6	0,00	8,78	8,78	104	4	416	6,93
22	Blech	1	690	385	12	36,27	25,0	0,025	MAG-Hand	a3	4	0,385	1,54	7	1	11	0,18									2,15	2,15						
23	Blech	1	690	750	12	70,65	48,7	0,049	MAG-Hand	a3	4	0,75	3,00	7	1	21	0,35									2,88	2,88						
24	Blech	1	690	440	12	41,45	28,6	0,029	MAG-Hand	a3	4	0,44	1,76	7	1	12	0,21									2,26	2,26						
25	Blech	1	690	650	12	61,23	42,2	0,042	MAG-Hand	a3	4	0,65	2,60	7	1	18	0,30									2,68	2,68						
30																																	
31	Schottblech	2	2434	2434	20	382,14	930,1	1,860	MAG-Hand	a8	2	1,16	4,64	25	1	116	1,93								4,64	6	0,00	9,74	19,47				
									MAG-Hand	a12	2	2,2	8,80	46	1	405	6,75								8,8	6	0,88						
									MAG-Hand	a6	2	2,34	9,36	16	1	150	2,50								9,36	6	0,94						
								0,930	MAG-Hand	a10	2	2,34	9,36	36	1	337	5,62								9,36	6	0,94						
																	8,40										9,74						
32	Stirnplatte	2	1040	270	40	84,78	88,2	0,176	MAG-Hand	K40	1	1,04	2,08	210	1	437	7,28	K	2,08	8	16,6	0,28	2,08	6	0,21	2,62	5,24	20	4	160	2,67		
								5,729									44,11						2,46			2,83		76,19				13,33	

neuer Anschluss																																	
10																																	
11	Riegel Steg	2	1200	391	10	30,69	36,8	0,074	MAG-Hand	a5	2	0,39	1,56	11	1	17	0,29																
12	Riegel Flansch	2	1510	780	20	122,46	184,9	0,370	MAG-Hand	HV12	2	1,13	4,52	57	1	258	4,29	HV	4,52	8	72,3	1,21	4,52	6	0,45	4,58	9,16						
13	Riegel Steg	2		3,49	75		2.054,7	4,109	MAG-Hand	HV12	1	1,2	2,40	57	1	137	2,28	HV	2,4	8	19,2	0,32	2,4	6	0,24		7,08						
									MAG-Hand	K40	1	1,26	2,52	210	1	529	8,82	K	2,52	8	20,2	0,34	2,52	6	0,25								
14	Stegblech	1	650	500	30	117,75	76,5	0,077	MAG-Hand	a6	4	0,5	2,00	16	1	32	0,53							2	6	0,20	2,30	2,30					
15	Schottblech	1	650	1160	12	109,27	71,0	0,071	MAG-Hand	a6	2	1,89	3,78	16	1	60	1,01									3,62	3,62						
20																																	
21	Stirnplatte	1	1410	1260	30	296,73	418,4	0,418	MAG-Hand	a5	2	0,71	1,42	11	1	16	0,26							1,42	6	0,14	5,34	5,34	52	5	260	4,33	
22	Blech	1	650	680	12	64,06	41,6	0,042	MAG-Hand	a3	4	0,69	2,76	7	1	19	0,32									2,66	2,66						
23	Steife	2	290	500	30	117,75	34,1	0,068	MAG-Hand	a6	2	0,69	2,76	16	1											1,58	3,16						
24	Blech	1	650	965	12	90,90	59,1	0,059	MAG-Hand	a3	4	0,97	3,88	7	1	27	0,45									3,23	3,23						
30																																	
31	Schottblech	1	2434	2434	25	477,67	1162,7	1,163	MAG-Hand	a10	2	2,34	4,68	36	1	168	2,81							4,68	6	0,47	9,74	9,74					
									MAG-Hand	a8	2	2,34	4,68	25	1	117	1,95							4,68	6	0,47							
									MAG-Hand	a6	2	2,34	4,68	16	1	75	1,25							4,68	6	0,47							
									MAG-Hand	a6	2	2,34	4,68	16	1	75	1,25							4,68	6	0,47							
								0,581									3,63										0,94						
32	Steife	4	600	425	30	100,09	60,1	0,240	MAG-Hand	a10	2	0,6	4,80	36	1	173	2,88							4,8	6	0,48	2,05	8,20					
									MAG-Hand	a12	2	0,42	3,36	46	1	155	2,58							3,36	6	0,34							
33	Verstärkungsblech	1	880	2434	40	764,28	672,6	0,673	MAG-Hand	HV40	2	0,88	1,76	390	1	686	11,44	HV	1,76	8	28,2	0,47	1,76	6	0,18	6,63	6,63	52	2	104	1,73		
									MAG-Hand	a6	2	2,42	4,84	16	1	77	1,29							4,84	6	0,48							
								6,782									40,07								2,33			3,70			67,48		9,93

Schottbelche nur 50%, da auch von anderen Riegel erforderlich

Anschlussstyp III

R17 / R24

Pos	Kurztext	Stck	L		B	t	Gewicht			Zusammenbau/Anbau							Transporte							
			mm	mm	mm	kg/m	kg/Stck	to	Stck	L (m/Stck)	L (m)	min/m	min/Stck	min	Std	Stck	g<20	g<100	g>100	g>500				
10	Riegel Steg	2	1.200	1.062	10	83,37	100,04	0,20	2	1,2	2,4	1,00	2	0	0	0	2	0	0					
11	Riegel Flansch	2	780	680	15	80,07	62,45	0,12	2	0,78	1,56	1,33	2	0	0	2	0	0	0					
12	Riegel Steg	2	900	3.300	55	1.424,78	1.282,30	2,56	2	0,9	1,8	100	2	0	0	0	0	0	2					
13	Riegel Flansch	2	690	1.100	40	345,40	238,33	0,48	2	0,69	1,38	91	2	0	0	0	2	0	0					
14	Riegel Flansch	2	690	1.100	40	345,40	238,33	0,48	2	0,69	1,38	91	2	0	0	0	2	0	0					
15	Schottblech	1	690	1.120	12	105,50	72,80	0,07	1	0,69	0,69	30	1	0	0	1	0	0	0					
20	Stirnplatte	1	1.040	3.350	38	999,31	1.039,28	1,04	1	1,04	1,04	180	1	0	0	0	0	0	1					
21	Blech	1	690	385	12	36,27	25,02	0,03	1	0,69	0,69	30	1	0	0	1	0	0	1					
22	Blech	1	690	750	12	70,65	48,75	0,05	1	0,69	0,69	30	1	0	0	1	0	0	0					
23	Blech	1	690	750	12	70,65	48,75	0,05	1	0,69	0,69	30	1	0	0	1	0	0	0					
24	Blech	1	690	440	12	41,45	28,60	0,03	1	0,69	0,69	30	1	0	0	1	0	0	0					
25	Blech	1	690	650	12	61,23	42,25	0,04	1	0,69	0,69	30	1	0	0	1	0	0	0					
30	Schottblech	2	2.434	2.434	20	382,14	930,12	1,86	2	2,434	4,868	180	2	0	0	0	0	0	2					
31	Stirnplatte	2	1.040	270	40	84,78	88,17	0,93	2	1,04	2,08	45	2	0	0	0	0	0	1					
32	Stirnplatte	2	1.040	270	40	84,78	88,17	0,18	2	1,04	2,08	90	2	0	0	2	0	0	0					
Summen									5,73	15,52										18	0	9	4	4

10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				</
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

Nr	Bezeichnung der Teilkosten	Gewicht to	Stck	Längen		Spez. Fertigung		Faktor	Fertigungszeiten	
				m/St	m	min/St	Std/m		Std	Std/lo
MPP-A Einzelteillfertigung gesondert (ohne Bohren, Fräsen)										
1	Nahtvorbereitung (6 min/m Schweißkanten mit Brenner)								2,46	0,43
2	Zusammenbau/Anbau aller Teile (lt Zusammenstellung)								15,52	2,71
3	Vorwärmen (2 min / m wg. vieler Doppelnähte ; Normalwert 3 min/m)								2,83	0,49
4	Schweißen									
4.1	Verputzen / Beschleifen der Brennkanten (0,5 min/m)				76,19		0,01		0,63	0,11
4.2	Schweißzeit lt. Tabelle (Mag- Hand + UP, w- Position)								44,11	7,70
4.3	Abschlag von 20% Vorgabe für die Fertigung (Akkordlohn)							-20%	-8,82	-1,54
4.4	Zuschlag für Kurznähte +-s- Position + erschwerte Zugänglichkeit: 40 % für 30% der Nähte							12%	5,29	0,92
5	Bohren (wenn möglich , im Paket bohren)	5,73							13,33	2,33
6	Fräsen (Schruppfräser d=63mm + Messerkopf d=150mm)									
6.2	Stirnflächen von Pos 501+502 A = 2 x (3,05 x 1,04-0,8 x 0,5) = 5,44 m² ; v= 3,5min/(0,14*0,1)		1		7,98		4,17		33,3	5,80
7	Transporte									
7.1	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g < 20 kg/St		0			1			0,00	0,00
7.2	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g = 20-100 kg/St		9			4			0,60	0,10
7.3	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g = 100-500 kg/Stck		4			10			0,67	0,12
7.4	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g > 500 kg/Stck		4			12			0,80	0,14
Gesamtsumme Fertigungszeit/-kosten MPP-A									110,67	19,32

MPP-B Einzelteillfertigung gesondert (ohne Bohren , Fräsen)										
1	Nahtvorbereitung (6 min/m Schweißkanten mit Brenner)								2,33	0,34
2	Zusammenbau/Anbau aller Teile (lt Zusammenstellung)								12,33	1,82
3	Vorwärmen (2 min / m wg. vieler Doppelnähte ; Normalwert 3 min/m)								3,70	0,55
4	Schweißen									
4.1	Verputzen / Beschleifen der Brennkanten (0,5 min/m)				67,48		0,01		0,56	0,08
4.2	Schweißzeit lt. Tabelle (Mag- Hand + UP , w- Position)								40,07	5,91
4.3	Abschlag von 20% Vorgabe für die Fertigung (Akkordlohn)							-20%	-8,01	-1,18
4.4	Zuschlag für Kurznähte +-s- Position + erschwerte Zugänglichkeit: 40 % für 30% der Nähte							12%	4,81	0,71
5	Bohren (wenn möglich , im Paket bohren)	6,78							9,93	1,46
6	Fräsen (Schruppfräser d=63mm + Messerkopf d=150mm)									
6.2	Stirnflächen von Pos 501+502 A = 2 x (3,05 x 1,04-0,8 x 0,5) = 5,44 m² ; v= 3,5min/(0,14*0,1)		1		3,23		4,17		13,5	1,98
7	Transporte									
7.1	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g < 20 kg/St		0			1			0,00	0,00
7.2	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g = 20-100 kg/St		10			4			0,67	0,10
7.3	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g = 100-500 kg/Stck		3			10			0,50	0,07
7.4	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g > 500 kg/Stck		4			12			0,70	0,10
Gesamtsumme Fertigungszeit/-kosten MPP-B									81,05	11,95

Anschlussstyp IV R18 / R25

Pos	Kurztext	Stck	L	B	t	Gewicht			Schweißzeiten									Nahtvorbereitung					Vorwärmen			Umfang		Bohren							
			mm	mm	mm	kg/m	kg/Stck	to	Naht	Typ	Stck/Pos	L (m/Stck)	L (m)	min/m	Faktor	min	Std	Form	m	min/m	min	Std	m	min/m	Std	m/stck	m	Stck/Pos	min/Stck	min	Std				
10	MPP-A																																		
11	Riegel Steg	2	1060	1120	15	131,88	139,8	0,280	MAG-V	a5	1	1,06	2,12	11	1	23	0,39										4,36	8,72							
12	Riegel Flansch	1	800	1964	40	616,70	493,4	0,493	MAG-V	a5	2	1,06	2,12	11	1	23	0,39										5,53	5,53							
									MAG-V	a5	2	0,905	1,81	11	1	20	0,33																		
13	Riegel Steg	2	905	2380	25	467,08	422,7	0,845	MAG-Hand	HV26	1	1,16	2,32	195	1	452	7,54	HV	2,32	8	18,6	0,31				2,32	6	0,23	6,57	13,14	12	4	96	1,60	
									MAG-Hand	a4	1	0,65	1,30	9	1	12	0,20										1,3	6	0,13						
14	Riegel Flansch	2	340	800	40	251,20	85,4	0,171	MAG-Hand	a12	2	0,34	1,36	46	1	63	1,04										1,36	6	0,14	2,28	4,56				
									MAG-Hand	a8	2	0,8	3,20	25	1	80	1,33										3,2	6	0,32						
15	Schottblech	1	746	1118	15	131,64	98,2	0,098	MAG-Hand	a4	2	1,87	3,74	9	1	34	0,56										3,74	6	0,37	3,73	3,73				
16	Riegel Flansch	1	750	1964	40	616,70	462,5	0,463	MAG-Hand	a8	2	0,905	1,81	25	1	45	0,75										1,81	6	0,18						
									MAG-Hand	a4	2	0,65	1,30	9	1	12	0,20										1,3	6	0,13						
									MAG-Hand	a8	2	0,905	3,62	25	1	91	1,51										3,62	6	0,36						
20																																			
21	Stirnplatte	1	1520	2570	36	726,28	1103,9	1,104	MAG-Hand	a6	4	2,24	8,96	16	1	143	2,39										8,96	6	0,90	8,18	8,18	88	4	352	5,87
									MAG-Hand	a18	4	0,775	3,10	91	1	282	4,70										3,1	6	0,31						
22	Blech	1	750	375	20	58,88	44,2	0,044	MAG-Hand	a3	4	0,38	1,52	7	1	11	0,18										1,52	6	0,15	2,25	2,25				
23	Blech	1	750	925	20	145,23	108,9	0,109	MAG-Hand	a3	4	0,92	3,68	7	1	26	0,43										3,68	6	0,37	3,35	3,35				
30																																			
31/32	Schottblech	2	2430	2430	40	763,02	1854,1	3,708	MAG-Hand	a6	2	2,34	9,36	16	1	150	2,50										9,36	6	0,94	9,72	19,44				
									MAG-Hand	a6	2	2,34	9,36	16	1	150	2,50										9,36	6	0,94						
									MAG-Hand	a6	2	2,34	9,36	16	1	150	2,50										9,36	6	0,94						
									MAG-Hand	a6	2	2,34	9,36	16	1	150	2,50										9,36	6	0,94						
								1,854									4,99											1,87		9,72					
33	Stirnplatte	1	1520	280	40	87,92	133,6	0,134	MAG-Hand	a10	2	1,52	3,04	36	1	109	1,82										3,04	6	0,30	3,60	3,60	32	2	64	1,07
34	Stirnplatte	1	1040	280	40	87,92	91,4	0,091	MAG-Hand	a10	2	1,04	2,08	36	1	75	1,25										2,08	6	0,21	2,64	2,64	20	2	40	0,67
								5,686									30,00					0,31				6,37		65,42					9,20		

M PP-B																																													
10																				8			6					4																	
11	Riegel Steg	2	1200	1020	60	480,42	576,5	1,153	MAG-V	a10	2	0,58	2,32	36	1	84	1,39	HV	2,32	8	37,1	0,62	2,32	6	0,23	4,44	8,88																		
12	Riegel Flansch	2	570	680	40	213,52	121,7	0,243																																					
14	Stegblech	1	680	500	20	78,50	53,4	0,053	MAG-Hand	a8	4	0,5	2,00	25	1	50	0,83																												
15	Schottblech	1	680	1120	15	131,88	89,7	0,090	MAG-Hand	a7	4	1,23	4,92	20	1	98	1,64																												
20																																													
21	Stirnplatte	2	1070	925	40	290,45	310,8	0,622	MAG-Hand	a18	4	0,925	7,40	91	1	673	11,22	HV	7,4	8	236,8	3,95	7,4	6	0,74	3,99	7,98	48	4	384	6,40														
									MAG-Hand	a6	2	0,68	2,72	16	1	44	0,73																												
22	Blech	2	900	2207	40	693,00	623,7	1,247	MAG-Hand	a10	4	2,21	17,68	36	1	636	10,61																												
23	Stegblech	1	900	720	20	113,04	101,7	0,102	MAG-Hand	a6	4	0,9	3,60	16	1	58	0,96																												
									MAG-Hand	a6	2	0,72	1,44	16	1	23	0,38																												
30																																													
31	Schottblech (unten)	1	2430	2430	40	763,02	1854,1	1,854	MAG-Hand	a8	2	2,33	4,66	25	1	117	1,94																												
									MAG-Hand	a10	2	2,33	4,66	36	1	168	2,80																												
									MAG-Hand	a6	2	2,33	4,66	16	1	75	1,24																												
									MAG-Hand	a6	2	2,33	4,66	16	1	75	1,24																												
								0,927									3,61																												
31	Schottblech (oben)	1	2430	2430	40	763,02	1854,1	1,854	MAG-Hand	a6	2	2,33	4,66	16	1	75	1,24																												
									MAG-Hand	a6	2	2,33	4,66	16	1	75	1,24																												
									MAG-Hand	a6	2	2,33	4,66	16	1	75	1,24																												
									MAG-Hand	a6	2	2,33	4,66	16	1	75	1,24																												
32	Steife	2	815	1742	40	546,99	445,8	0,892	MAG-Hand	a14	2	1,74	6,96	59	1	411	6,84																												
									MAG-Hand	a6	4	0,76	6,08	16	1	97	1,62																												
33	Steife	2	430	810	40	254,34	109,4	0,219	MAG-Hand	a14	2	0,38	1,52	59	1	90	1,49																												
									MAG-Hand	a6	2	0,76	3,04	16	1	49	0,81																												
																		4,57				8,27				73,26				8,00															

Schottbelche unten nur 50%, da auch von anderen Riegel erforderlich
Schottblech oben zu 100% mit einbezogen

Anschlussstyp IV

R18 / R25

Pos	Kurztext	Stck	L	B	t	Gewicht			Zusammenbau/Anbau						Transporte						
			mm	mm	mm	kg/m	kg/Stck	to	Stck	L (m/Stck)	L (m)	min/m	min/Stck	min	Std	Stck	g<20	g<100	g>100	g>500	
10	MPP-A																				
11	Riegel Steg	2	1060	1120	15	131,88	139,79	0,28	2	1,06	2,12		30	60	1,00	2	0	0	2	0	
12	Riegel Flansch	1	800	1964	40	616,70	493,36	0,49	1	0,8	0,8		40	40	0,67	1	0	0	1	0	
13	Riegel Steg	2	905	2380	25	467,08	422,70	0,85	2	0,905	1,81		30	60	1,00	2	0	0	2	0	
14	Riegel Flansch	2	340	800	40	251,20	85,41	0,17	2	0,34	0,68		45	90	1,50	2	0	2	0	0	
15	Schottblech	1	746	1118	15	131,64	98,21	0,10	1	0,746	0,746		30	30	0,50	1	0	1	0	0	
16	Riegel Flansch	1	750	1964	40	616,70	462,52	0,46	1	0,75	0,75		30	30	0,50	1	0	0	1	0	
20																					
21	Stirnplatte	1	1520	2570	36	726,28	1.103,95	1,10	1	1,52	1,52		180	180	3,00	1	0	0	0	1	
22	Blech	1	750	375	20	58,88	44,16	0,04	1	0,75	0,75		30	30	0,50	1	0	1	0	0	
23	Blech	1	750	925	20	145,23	108,92	0,11	1	0,75	0,75		30	30	0,50	1	0	0	1	0	
30																					
31/32	Schottblech	2	2430	2430	40	763,02	1.854,14	3,71	2	2,43	4,86		180	360	6,00	2	0	0	0	2	
								1,85							3,00						
33	Stirnplatte	1	1520	280	40	87,92	133,64	0,13	1	1,52	1,52		45	45	0,75	1	0	0	1	0	
34	Stirnplatte	1	1040	280	40	87,92	91,44	0,09	1	1,04	1,04		45	45	0,75	1	0	1	0	0	
Summen									5,69							13,67	16	0	5	8	3

10	MPP-B																				
11	Riegel Steg	2	1200	1020	60	60	480,42	576,50	1,15	2	1,2	2,4		30	60	1,00	2	0	0	0	2
12	Riegel Flansch	2	570	680	40	40	213,52	121,71	0,24	2	0,57	1,14		40	80	1,33	2	0	0	2	0
14	Stegblech	1	680	500	20	20	78,50	53,38	0,05	1	0,68	0,68		40	40	0,67	1	0	1	0	0
15	Schottblech	1	680	1120	15	15	131,88	89,68	0,09	1	0,68	0,68		30	30	0,50	1	0	1	0	0
20																					
21	Stirnplatte	2	1070	925	40	40	290,45	310,78	0,62	2	1,07	2,14		180	360	6,00	2	0	0	2	0
22	Blech	1	900	2207	40	40	693,00	623,70	1,25	1	0,9	0,9		30	30	0,50	1	0	0	0	1
23	Stegblech	1	900	720	20	20	113,04	101,74	0,10	1	0,9	0,9		40	40	0,67	1	0	0	1	0
30																					
31	Schottblech (unten)	1	2430	2430	40	40	763,02	1.854,14	1,85	1	2,43	2,43		180	180	3,00	1	0	0	0	1
31	Schottblech (oben)	1	2430	2430	40	40	763,02	1.854,14	0,93	1	2,43	2,43		180	180	1,50	1	0	0	0	1
32	Steife	2	815	1742	40	40	546,99	445,80	0,89	2	0,815	1,63		45	90	1,50	2	0	0	2	0
33	Steife	2	430	810	40	40	254,34	109,37	0,22	2	0,43	0,86		30	60	1,00	2	0	0	2	0
Summen										7,40						17,67	16	0	2	9	5

Nr	Bezeichnung der Teilkosten	Gewicht to	Stck	Längen		Spez. Fertigung min/St	Faktor %	Fertigungszeiten	
				m/St	m			Std	Stdto
MPP-A									
1	Einzelteillfertigung gesondert (ohne Bohren, Fräsen)								
2	Nahtvorbereitung (6 min/m Schweißkanten mit Brenner)							0,31	0,05
3	Zusammenbau/Anbau aller Teile (lt Zusammenstellung)							13,67	2,40
	Vorwärmen (2 min / m wg. vieler Doppelnähte ; Normalwert 3 min/m)							6,37	1,12
4	Schweißen								
4.1	Verputzen / Beschleifen der Brennkanten (0.5 min/m)			65,42				0,55	0,10
4.2	Schweißzeit lt. Tabelle (Mag- Hand + UP , w- Position)					0,01		30,00	5,28
4.3	Abschlag von 20% Vorgabe für die Fertigung (Akkordlohn)						-20%	-6,00	-1,06
4.4	Zuschlag für Kurznähte +s- Position + erschwerte Zugänglichkeit: 40 % für 30% der Nähte						12%	3,60	0,63
5	Bohren (wenn möglich , im Paket bohren)	5,69						9,20	1,62
6	Fräsen (Schruppfräser d=63mm + Messerkopf d=150mm)								
6.2	Stirnflächen von Pos 501+502 $A = 2 \times (3,05 \times 1,04 - 0,8 \times 0,5) = 5,44 \text{ m}^2$; $v = 3,5 \text{ min} / (0,14 \times 0,1)$		1	7,12		4,17		29,7	5,22
7	Transporte								
7.1	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g < 20 kg/St		0			1		0,00	0,00
7.2	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g = 20-100 kg/St		5			4		0,33	0,06
7.3	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g = 100-500 kg/St		8			10		1,33	0,23
7.4	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g > 500 kg/St		3			12		0,60	0,11
Gesamtsumme Fertigungszeit/-kosten MPP-A								89,62	15,76

MPP-B									
1	Einzelteillfertigung gesondert (ohne Bohren , Fräsen)							4,57	0,62
2	Nahtvorbereitung (6 min/m Schweißkanten mit Brenner)							17,67	2,39
3	Zusammenbau/Anbau aller Teile (lt Zusammenstellung)							8,27	1,12
4	Vorwärmen (2 min / m wg. vieler Doppelnähte ; Normalwert 3 min/m)								
5	Schweißen								
6	Verputzen / Beschleifen der Brennkanten (0,5 min/m)			73,26		0,01		0,61	0,08
7	Schweißzeit lt. Tabelle (Mag- Hand + UP , w- Position)							47,12	6,37
8	Abschlag von 20% Vorgabe für die Fertigung (Akkordlohn)						-20%	-9,42	-1,27
9	Zuschlag für Kurznähte +s- Position + erschwerte Zugänglichkeit: 40 % für 30% der Nähte						12%	5,65	0,76
10	Bohren (wenn möglich , im Paket bohren)	7,40						8,00	1,08
11	Fräsen (Schruppfräser d=63mm + Messerkopf d=150mm)								
12	Stirnflächen von Pos 501+502 A = 2 x (3,05 x 1,04-0,8 x 0,5) = 5,44 m² ; v= 3,5min/(0,14*0,1)		1	5,06		4,17		21,1	2,85
13	Transporte								
14	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g < 20 kg/St		0			1		0,00	0,00
15	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g = 20-100 kg/St		2			4		0,13	0,02
16	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g = 100-500 kg/St		9			10		1,50	0,20
17	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g > 500 kg/St		5			12		1,00	0,14
Gesamtsumme Fertigungszeit/-kosten MPP-B								106,18	14,35

Anschlussstyp V R19 / R26

Pos	Kurztext	Stck	L	B	t	Gewicht			Schweißzeiten									Nahtvorbereitung					Vorwärmen			Umfang		Bohren				
			mm	mm	mm	kg/m	kg/Stck	to	Naht	Typ	Stck/Pos	L (m/Stck)	L (m)	min/m	Faktor	min	Std	Form	m	min/m	min	Std	m	min/m	Std	m/stck	m	Stck/Pos	min/Stck	min	Std	
10	MPP-A																															
11	Riegel Steg	2	655	1460	20	229,22	150,1	0,300	MAG-V	a6	2	0,655	2,62	16	1	42	0,70															
12	Riegel Flansch	1	1840	1950	45	688,84	1267,5	1,267	MAG-Hand	a6	2	1,295	2,59	16	1	41	0,69															
									MAG-Hand	HV24	2	0,905	1,81	172	1	311	5,19	HV	1,81	8	29,0	0,48										
13	Riegel Steg	2	1295	3120	70	1.714,44	2220,2	4,440	MAG-Hand	HV20	1	1,16	2,32	120	1	278	4,64	HV	2,32	8	18,6	0,31										
									MAG-Hand	a4	2	0,45	1,80	9	1	16	0,27															
									MAG-Hand	HV16	2	3,12	12,48	78	1	973	16,22	HV	12,5	8	199,7	3,33										
14	Riegel Flansch	1	800	1943	45	686,36	549,1	0,549	MAG-Hand	HV24	2	1,66	3,32	172	1	571	9,52	HV	3,32	8	53,1	0,89										
15	Schottblech	1	660	1460	15	171,92	113,5	0,113	MAG-Hand	a4	2	2,11	4,22	9	1	38	0,63															
16	Riegel Flansch	2	520	1195	45	422,13	219,5	0,439	MAG-Hand	HV24	2	0,43	1,72	172	1	296	4,93	HV	1,72	8	27,5	0,46										
20																																
21	Stirnplatte	1	1660	3180	50	1.248,15	2071,9	2,072																								
22	Blech	1	660	700	60	329,70	217,6	0,218	MAG-Hand	a18	4	0,7	2,80	91	1	255	4,25															
									MAG-Hand	a8	2	0,9	0,66	25	1	17	0,28															
23	Blech	1	660	900	60	423,90	279,8	0,280	MAG-Hand	a8	4	0,9	3,60	25	1	90	1,50															
									MAG-Hand	a8	2	0,9	0,66	25	1	17	0,28															
24	Stirnplatte	1	1040	1040	40	326,56	339,6	0,340	MAG-Hand	a12	4	1,04	4,16	46	1	191	3,19															
30																																
31	Schottblech	1	1714	2430	40	763,02	1307,8	1,308	MAG-Hand	K40	2	0,64	1,28	210	1	269	4,48	K	1,28	8	20,5	0,34										
									MAG-Hand	a8	2	1,74	3,48	25	1	87	1,45															
									MAG-Hand	a8	2	1,78	3,56	25	1	89	1,48															
								0,654	MAG-Hand	a14	2	1,1	2,20	59	1	130	2,16															
								4,79																								
32	Schottblech	1	1714	2430	40	763,02	1307,8	1,308	MAG-Hand	K40	2	1,755	3,51	210	1	737	12,29	K	3,51	8	56,2	0,94										
									MAG-Hand	a10	2	1,74	3,48	36	1	125	2,09															
									MAG-Hand	a10	2	1,78	3,56	36	1	128	2,14															
								0,654	MAG-Hand	a14	2	1,24	2,48	59	1	146	2,44															
								9,47																								
33	Schottblech	1	1714	2430	40	763,02	1307,8	1,308	MAG-Hand	a6	2	2,43	4,86	16	1	78	1,30															
									MAG-Hand	a6	2	1,74	3,48	16	1	56	0,93															
									MAG-Hand	a6	2	2,43	4,86	16	1	78	1,30															
									MAG-Hand	a6	2	1,74	3,48	16	1	56	0,93															
34	Stirnplatte	2	1040	360	40	113,04	117,6	0,235	MAG-Hand	K40	1	1,04	2,08	210	1	437	7,28	K	2,08	8	16,6	0,28										
35	Steife	2	690	850	50	333,63	230,2	0,460	MAG-Hand	a15	2	0,8	3,20	67	1	214	3,57	K	3,2	8	51,2	0,85										
									MAG-Hand	a15	2	0,68	2,72	67	1	182	3,04	K	2,72	8	43,5	0,73										
									MAG-Hand	a6	2	0,86	3,44	16	1	55	0,92	K	3,44	8	55,0	0,92										
36	Steife	2	700	850	50	333,63	233,5	0,467	MAG-Hand	a6	2	0,86	3,44	16	1	55	0,92															
									MAG-Hand	a15	2	0,7	2,80	67	1	188	3,13	K	2,8	8	44,8	0,75										
									MAG-Hand	a10	2	0,81	3,24	36	1	117	1,94															
37	Steife	2	1460	850	50	333,63	487,1	0,974	MAG-Hand	a6	2	0,86	3,44	16	1	55	0,92															
									MAG-Hand	a15	2	0,7	2,80	67	1	188	3,13	K	2,8	8	44,8	0,75										
									MAG-Hand	a10	2	0,81	3,24	36	1	117	1,94															
14,192									97,77									11,01					9,94			113,74		9,87				

Anschlussstyp V

R19 / R26

Pos	Kurztext	Stck	L	B	t	Gewicht			Schweißzeiten									Nahtvorbereitung					Vorwärmen			Umfang		Bohren				
			mm	mm	mm	kg/m	kg/Stck	to	Naht	Typ	Stck/Pos	L (m/Stck)	L (m)	min/m	Faktor	min	Std	Form	m	min/m	min	Std	m	min/m	Std	m/stck	m	Stck/Pos	min/Stck	min	Std	
MPP-B																																
10																				8				6					4			
11	Riegel Steg	2	840	1550	40	486,70	408,8	0,818	MAG-V	HV20	2	0,58	2,32	120	1	278	4,64	HV	2,32	8	37,1	0,62	2,32	6	0,23	4,78	9,56					
12	Riegel Flansch	2	390	720	50	282,60	110,2	0,220																								
14	Stegblech	1	720	500	30	117,75	84,8	0,085	MAG-Hand	a8	4	0,5	2,00	25	1	50	0,83							2	6	0,20	2,44	2,44				
15	Schottblech	1	720	150	20	23,55	17,0	0,017	MAG-Hand	a7	4	1,23	4,92	20	1	98	1,64															
20																		K	0,93	8	29,6	0,49	7,4	6	0,74	4,54	9,08	48	4	384	6,40	
21	Stirnplatte	2	1120	1150	60	541,65	606,6	1,213	MAG-Hand	a20	4	0,925	7,40	109	1	807	13,44															
									MAG-Hand	a6	2	0,68	2,72	16	1	44	0,73						2,72	6	0,27							
22	Knotenblech	2	1040	2877	40	903,38	939,5	1,879	MAG-Hand	a12	4	2,21	17,68	46	1	813	13,55						17,68	6	1,77	7,83	15,67					
23	Stegblech	2	720	1040	30	244,92	176,3	0,353	MAG-Hand	a6	4	1,04	8,32	16	1	133	2,22						8,32	6	0,83	3,52	7,04					
									MAG-Hand	a6	2	0,72	2,88	16	1	46	0,77						2,88	6	0,29							
24	Steife	1	720	500	45	176,63	127,2	0,127	MAG-Hand	a8	2	0,72	1,44	25	1	36	0,60						1,44	6	0,14	2,44	2,44					
									MAG-Hand	a20	4	0,5	2,00	109	1	218	3,63						2	6	0,20							
25	Steife	1	720	1000	45	353,25	254,3	0,254	MAG-Hand	a8	4	0,72	2,88	25	1	72	1,20						2,88	6	0,29	3,44	3,44					
									MAG-Hand	a10	4	1	4,00	36	1	144	2,40						4	6	0,40							
26	Stirnplatte	1	1040	1040	40	326,56	339,6	0,340	MAG-Hand	a12	4	1,04	4,16	46	1	191	3,19						4,16	6	0,42	4,16	4,16	24	2	48	0,80	
30																																
31	Schottblech (Unten)	2	1714	2430	40	763,02	1307,8	2,616	MAG-Hand	a8	2	2,33	9,32	25	1	233	3,88						9,32	6	0,93	8,29	16,58					
									MAG-Hand	a10	2	1,73	6,92	36	1	249	4,15						6,92	6	0,69							
									MAG-Hand	a6	2	2,33	9,32	16	1	149	2,49						9,32	6	0,93							
									MAG-Hand	a14	2	1,13	4,52	59	1	267	4,44						4,52	6	0,45							
32	Schottblech (Oben)	1	1714	2430	40	763,02	1307,8	1,308	MAG-Hand	a6	2	2,33	4,66	16	1	75	1,24						4,66	6	0,47	8,29	8,29					
									MAG-Hand	a6	2	1,73	3,46	16	1	55	0,92						3,46	6	0,35							
									MAG-Hand	a6	2	2,33	4,66	16	1	75	1,24						4,66	6	0,47							
									MAG-Hand	a6	2	1,73	3,46	16	1	55	0,92						3,46	6	0,35							
33	Steife	2	900	1158	50	454,52	409,1	0,818	MAG-Hand	a14	2	1,74	6,96	59	1	411	6,84	K	1,15	8	18,4	0,31	6,96	6	0,70	4,12	8,23					
									MAG-Hand	a6	4	0,76	6,08	16	1	97	1,62						6,08	6	0,61							
34	Steife	2	900	2012	50	789,71	710,7	1,421	MAG-Hand	a14	2	0,38	1,52	59	1	90	1,49	K	2,01	8	32,2	0,54	1,52	6	0,15	5,82	11,65					
									MAG-Hand	a6	2	0,76	3,04	16	1	49	0,81						3,04	6	0,30							
11,469									78,91									1,95					12,66			104,75		7,20				

Anschlussstyp V

R19 / R26

Pos	Kurztext	Stck	L	B	t	Gewicht		Zusammenbau/Anbau						Transporte							
			mm	mm	mm	kg/m	kg/Stck	to	Stck	L (m/Stck)	L (m)	min/m	min/Stck	min	Std	Stck	g<20	g<100	g>100	g>500	
10	MPP-A	2	655	1460	20	229,22	150,14	0,30	2	0,655	1,31		30	60	1,00	2	0	0	2	0	
11	Riegel Steg	1	1840	1950	45	688,84	1.267,46	1,27	1	1,84	1,84		40	40	0,67	1	0	0	0	1	
12	Riegel Flansch	2	1295	3120	70	1.714,44	2.220,20	4,44	2	1,295	2,59		40	80	1,33	2	0	0	0	2	
13	Riegel Steg	1	800	1943	45	686,36	549,09	0,55	1	0,8	0,8		30	30	0,50	1	0	0	0	1	
14	Riegel Flansch	1	660	1460	15	171,92	113,46	0,11	1	0,66	0,66		40	40	0,67	1	0	0	1	0	
15	Schottblech	2	520	1195	45	422,13	219,51	0,44	2	0,52	1,04		30	60	1,00	2	0	0	2	0	
16	Riegel Flansch																				
20																					
21	Stirnplatte	1	1660	3180	50	1.248,15	2.071,93	2,07	1	1,66	1,66		180	180	3,00	1	0	0	0	1	
22	Blech	1	660	700	60	329,70	217,60	0,22	1	0,66	0,66		30	30	0,50	1	0	0	1	0	
23	Blech	1	660	900	60	423,90	279,77	0,28	1	0,66	0,66		30	30	0,50	1	0	0	1	0	
24	Stirnplatte	1	1040	1040	40	326,56	339,62	0,34	1	1,04	1,04		45	45	0,75	1	0	0	1	0	
30																					
31	Schottblech	1	1714	2430	40	763,02	1.307,82	1,31	1	1,714	1,714		180	180	3,00	1	0	0	0	1	
32	Schottblech	1	1714	2430	40	763,02	1.307,82	1,31	1	1,714	1,714		180	180	1,50	1	0	0	0	1	
33	Schottblech	1	1714	2430	40	763,02	1.307,82	1,31	1	1,714	1,714		180	180	3,00	1	0	0	0	1	
34	Stirnplatte	2	1040	360	40	113,04	117,56	0,24	2	1,04	2,08		45	90	1,50	2	0	0	2	0	
35	Steife	2	690	850	50	333,63	230,20	0,46	2	0,69	1,38		30	60	1,00	2	0	0	2	0	
36	Steife	2	700	850	50	333,63	233,54	0,47	2	0,7	1,4		30	60	1,00	2	0	0	2	0	
37	Steife	2	1460	850	50	333,63	487,09	0,97	2	1,46	2,92		60	120	2,00	2	0	0	2	0	
Summen									14,19							21,42	24	0	0	16	8

Anschlussstyp V

R19 / R26

Pos	Kurztex	Stck	L		B	t	Gewicht			Zusammenbau/Anbau						Transporte						
			mm	mm	mm	kg/m	kg/Stck	to	Stck	L (m/Stck)	L (m)	min/m	min/Stck	min	Std	Stck	g<20	g<100	g>100	g>500		
10	MPP-B																					
11	Riegel Steg	2	840	1550	40	40	486,70	408,83	0,82	2	0,84	1,68		30	60	1,00	2	0	0	2	0	
12	Riegel Flansch	2	390	720	50	50	282,60	110,21	0,22	2	0,39	0,78		40	80	1,33	2	0	0	2	0	
14	Stegblech	1	720	500	30	30	117,75	84,78	0,08	1	0,72	0,72		40	40	0,67	1	0	1	0	0	
15	Schottblech	1	720	150	20	20	23,55	16,96	0,02	1	0,72	0,72		30	30	0,50	1	1	0	0	0	
20																						
21	Stirplatte	2	1120	1150	60	60	541,65	606,65	1,21	2	1,12	2,24		180	360	6,00	2	0	0	0	2	
22	Knotenblech	2	1040	2877	40	40	903,38	939,51	1,88	2	1,04	2,08		60	120	2,00	2	0	0	0	2	
23	Stegblech	2	720	1040	30	30	244,92	176,34	0,35	2	0,72	1,44		40	80	1,33	2	0	0	2	0	
24	Blech	1	720	500	45	45	176,63	127,17	0,13	1	0,72	0,72		30	30	0,50	1	0	0	1	0	
25	Blech	1	720	1000	45	45	353,25	254,34	0,25	1	0,72	0,72		30	30	0,50	1	0	0	1	0	
26	Stirplatte	1	1040	1040	40	40	326,56	339,62	0,34	1	1,04	1,04		70	70	1,17	1	0	0	1	0	
30																						
31	Schottblech (Unten)	2	1714	2430	40	40	763,02	1.307,82	2,62	2	1,714	3,428		180	360	6,00	2	0	0	0	2	
32	Schottblech (Oben)	1	1714	2430	40	40	763,02	1.307,82	1,31	1	1,714	1,714		180	180	3,00	1	0	0	0	1	
33	Steife	2	900	1158	50	50	454,52	409,06	0,82	2	0,9	1,8		40	80	1,33	2	0	0	2	0	
34	Steife	2	900	2012	50	50	789,71	710,74	1,42	2	0,9	1,8		80	160	2,67	2	0	0	0	2	
Summen							11,47									28,00		22	1	1	11	9

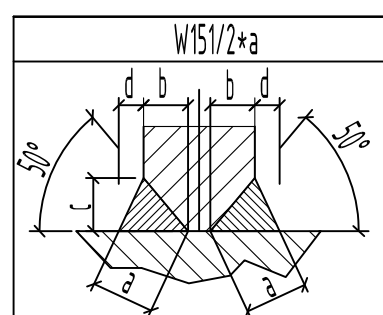
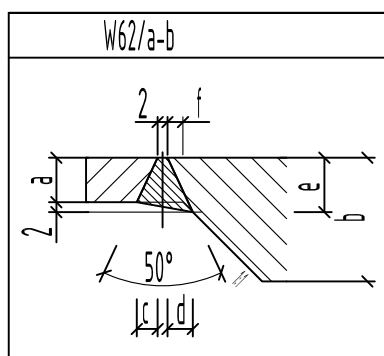
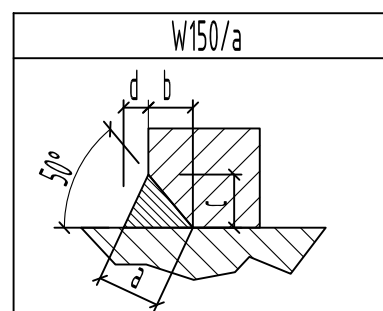
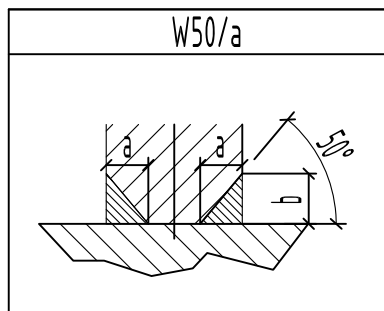
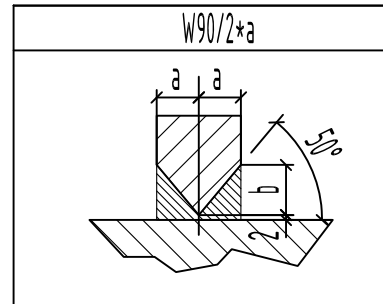
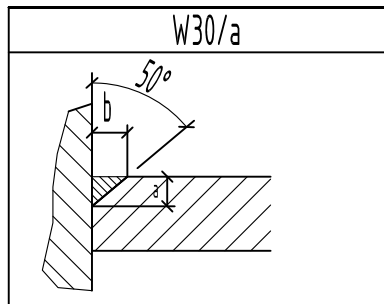
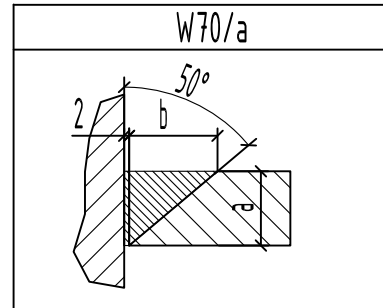
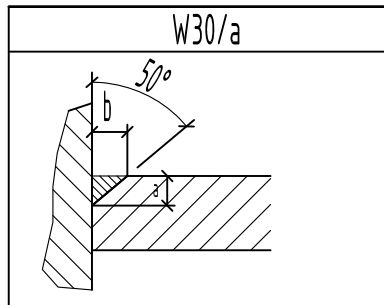
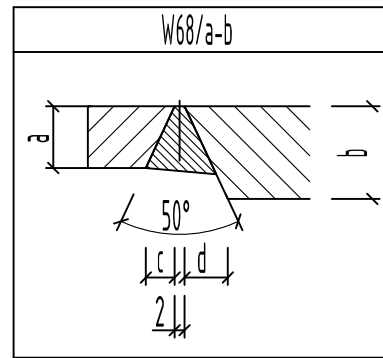
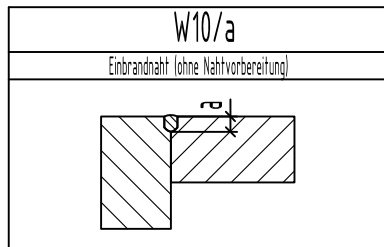
Bezeichnung der Teilkosten										Datum 19.09.2009	
Nr	Gewicht	Stck	Längen		Spez. Fertigung	Faktor	Fertigungszeiten		Stdto		
			m/St	m			min/St	Std/m		%	Std
MPP-A											
1								11,01	0,78		
2								21,42	1,51		
3								9,94	0,70		
4											
4.1				111,59				0,93	0,07		
4.2								97,77	6,89		
4.3							-20%	-19,55	-1,38		
4.4							12%	11,73	0,83		
5	14,19										
6								9,87	0,70		
6.2		1		9,52				39,7	2,79		
7											
7.1		0						0,00	0,00		
7.2		0						0,00	0,00		
7.3		17						2,83	0,20		
7.4		7						1,40	0,10		
Gesamtsumme Fertigungszeit/-kosten MPP-A										187,01	13,18

MPP-B									
1	Einzelteillfertigung gesondert (ohne Bohren , Fräsen)							1,95	0,17
2	Nahtvorbereitung (6 min/m Schweißkanten mit Brenner)							28,00	2,44
3	Zusammenbau/Anbau aller Teile (lt Zusammenstellung)							12,66	1,10
4	Vorwärmen (2 min / m wg. vieler Doppelnähte ; Normalwert 3 min/m)								
5	Schweißen								
6	Verputzen / Beschleifen der Brennkanten (0,5 min/m)			104,75		0,01		0,87	0,08
7	Schweißzeit lt. Tabelle (Mag- Hand + UP , w- Position)							78,91	6,88
8	Abschlag von 20% Vorgabe für die Fertigung (Akkordlohn)						-20%	-15,78	-1,38
9	Zuschlag für Kurznähte +s- Position + erschwerte Zugänglichkeit: 40 % für 30% der Nähte						12%	9,47	0,83
10	Bohren (wenn möglich , im Paket bohren)	11,47						7,20	0,63
11	Fräsen (Schruppfräser d=63mm + Messerkopf d=150mm)								
12	Stirnflächen von Pos 501+502 A = 2 x (3,05 x 1,04-0,8 x 0,5) = 5,44 m² ; v= 3,5min/(0,14*0,1)		1	5,8		4,17		24,2	2,11
13	Transporte								
14	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g < 20 kg/St		1					0,02	0,00
15	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g = 20-100 kg/St		1					0,07	0,01
16	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g = 100-500 kg/St		11					1,83	0,16
17	Transporte von Einzelteilen auf und von der Zulage , g > 500 kg/St		9					1,80	0,16
Gesamtsumme Fertigungszeit/-kosten MPP-B								151,17	13,18

Anlage F

Übersicht der in der Bemessung der Anschlüsse verwendeten Schweißnahtbenennungen.

Inhalt	Zeichnungsnummer
Übersicht Schweißnahtbenennung	W-1



0	Neustadt	15. 12. 09			
Revision	Name	Datum	Beschreibung		
Darstellung			Zeichnungsnummer	Maßstab	Rev. /Ver.
Übersicht Schweißnahtbenennung			W-1	o. M.	0

Anlage G

Unter diesem Anlagepunkt werden Bestandteile oder Grundlagen dieser Diplomarbeit, die den Umfang der schriftlichen Dokumentation unnötig aufblasen würden, mittels digitalen Datenträgers (CD) beigelegt.

Inhalt

Statische Berechnungen Kesselgerüst (siehe Kapitel 4)

Stabwerksmodell RSTAB (gelenkige Anschlüsse des Fachwerks)

Bestandsunterlagen des Referenzobjektes - Kesselgerüst Maasvlakte MPP-3)

Stabwerksmodell RSTAB (Rahmenfachwerk)